

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**Caracterización de comunidades de murciélagos en cuevas de Napo, Ecuador y
posibles efectos del espeleoturismo**

Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en Ciencias Biológicas

DAYANNA MICHELLE LÓPEZ ESCOBAR

Quito, 2018

Certifico que la Disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Srta. Dayanna Michelle López Escobar ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

M. Sc. Santiago F. Burneo
Director de la Disertación
Quito, 28 de febrero de 2018

DEDICATORIA

*A mis padres,
Por su apoyo en este largo viaje.
A mi hermana, Pamela,
Por ser mi guía en todo momento.*

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, Marco, porque fue mi principal inspiración al momento de elegir la carrera. A mi madre, Elida, la mujer que me da el ejemplo de ser fuerte y valiente en todo momento; y a mi hermana, Pamela, por ser mi guía, amiga y la mejor hermana siempre.

A todos los profesores que conocí durante la carrera, porque me inspiraron de muchas formas a amar más esta carrera.

A Santiago Burneo, por darme la oportunidad de descubrir la importancia y belleza del mundo de las cuevas. A la PUCE por el financiamiento del proyecto.

A Ana Belén Rivadeneira, por compartir conmigo su conocimiento y ser una gran ayuda durante las salidas de campo.

A Carla Rodríguez, Francisco Romero y todos los asistentes de campo que se dieron el tiempo para ayudarnos en este proyecto, gracias por las risas y el apoyo.

A todos mis amigos, quienes estuvieron siempre en los llantos y risas.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. DIVERSIDAD BIOLÓGICA.....	3
3.2. GENERALIDADES DE LAS CUEVAS.....	4
3.3. MURCIÉLAGOS.....	7
3.4. ECOTURISMO.....	9
4. OBJETIVOS.....	11
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
5.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	12
5.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CUEVAS.....	12
5.2. METODOLOGÍA.....	14
5.2.1. MUESTREO DE CUEVAS.....	14
5.2.2. CAPTURA DE MURCIÉLAGOS.....	15
5.2.3. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD ALFA DE CADA CUEVA.....	15
5.2.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ECOLÓGICAS QUE INFLUYEN EN LA DIVERSIDAD DE MURCIÉLAGOS CAVERNÍCOLAS.....	16

5.2.5. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO QUE PUEDE CAUSAR EL TURISMO EN LA COMUNIDAD DE MURCIÉLAGOS	17
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
6.1. CAPTURA DE MURCIÉLAGOS.....	19
6.2. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD ALFA DE CADA CUEVA.....	22
6.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ECOLOGICAS QUE INFLUYEN EN LA DIVERSIDAD DE MURCIÉLAGOS CAVERNICOLAS.....	23
6.4. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO QUE PUEDE CAUSAR EL TURISMO EN LA COMUNIDAD DE MURCIÉLAGOS	26
7. CONCLUSIONES	29
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
9. FIGURAS.....	37
10. TABLAS.....	48
11. ANEXOS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la cueva Toglo	37
Figura 2. Mapa de la cueva Uctu iji changa	38
Figura 3. Mapa de la Cueva de los Murciélagos.	39
Figura 4. Mapa de la cueva Lluskeyacu 2	40
Figura 5. Mapa de la cueva Mayanchi en la comunidad Aguayacu.....	41
Figura 6. Mapa de la Cueva Aguayacu en la comunidad Aguayacu.....	42
Figura 7. Mapa de la cueva Templo de Ceremonias	43
Figura 8. Mapa de la cueva Elefante.	44
Figura 9. Índice de equidad de Shannon.	45
Figura 10. Alfa de Fisher (α) de las cuevas analizadas	46
Figura 11. Análisis canónico de correspondencias.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de datos de la riqueza y abundancia de especies encontradas dentro de cada una de las cuevas analizadas.	48
Tabla 2. Correlación de Spearman	49
Tabla 3. Área, datos ambientales y poblacionales de las cuevas de estudio..	50
Tabla 4. Análisis de diversidad β	51

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Guía interpretativa	52
---	----

1. RESUMEN

Los murciélagos, al ser los únicos mamíferos voladores, han logrado diversificarse a gran escala alrededor de todo el mundo, llegando a ocupar diferentes tipos de refugios, entre estos, las cuevas; éstas son utilizadas para la protección contra predadores y el clima, interacción inter e intra específica y reproducción. La selección de las cuevas como sitios de percha por parte de los murciélagos depende de varios factores, tales como temperatura, humedad, cantidad de agua, gases, velocidad del aire, presencia de enfermedades y depredadores. Otro de los factores que podrían influir es el turismo, ya que la presencia de turistas podría alterar el comportamiento de los quirópteros. En el presente estudio, se evaluó la influencia de la temperatura, humedad y área de las cuevas en la diversidad de murciélagos en ocho cuevas dentro de los cantones Tena y Archidona, provincia de Napo, Ecuador. Además, se cuantificó la diversidad beta entre cuatro cuevas turísticas y cuatro no turísticas, con el fin de determinar si el turismo es un factor que podría estar afectando la estructura de sus comunidades. Los análisis arrojaron como resultado que los factores temperatura, humedad y área no se encuentran relacionados con la diversidad de murciélagos dentro de las cuevas de estudio. Por consiguiente, otros factores podrían tener mayor influencia en dicha comunidad. Con respecto a la influencia del turismo, se pudo observar que no hubieron diferencias en la diversidad de cuevas turísticas y no turísticas, concluyendo que el turismo no está afectando a la diversidad de murciélagos. Para lograr que las cuevas mantengan su estado de conservación, se ha propuesto como AICOMs y SICOMs algunas de las cuevas de estudio.

Palabras clave: Cuevas, diversidad, humedad, murciélagos, temperatura turismo.

2. ABSTRACT

Bats, being the only flying mammals, have managed to diversify on a large scale around the world, occupying different types of shelters, among them, caves. These are used for protection against predators and clima, inter and intra-specific interaction and reproduction. The selection of caves as roosting sites by bats depends on several factors, such as: temperature, humidity, amount of water, gases, air velocity, presence of diseases and predators. Another factor that could influence is tourism, since the presence of tourists could alter the behavior of Chiroptera. In the present study, the influence of temperature, humidity and area of the caves on the diversity of bats was evaluated in eight caves within the Tena and Archidona municipalities, Napo province, Ecuador. In addition, the beta diversity between four tourist and four non-tourist caves was quantified in order to determine if tourism is a factor that could be affecting the structure of their communities. Analyzes showed that the temperature, humidity and area factors are not related to the diversity of bats within the study caves. Therefore, other factors could have greater influence in that community. With respect to the influence of tourism, it was observed that there were no differences in the diversity of tourist and non-tourist caves, concluding that tourism is not affecting the diversity of bats. To achieve that the caves maintain their state of conservation, some of the study caves have been proposed as AICOMs and SICOMs.

Keywords: Bats, caves, diversity, humidity, temperature, tourism.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 DIVERSIDAD BIOLÓGICA

La biodiversidad o diversidad biológica es definida como la variabilidad entre los organismos vivos de todo el planeta, incluyendo todos los sistemas acuáticos y terrestres, incluyendo la diversidad dentro de especies, entre especies y de los ecosistemas (Magurran, 2004). La diversidad también puede ser estudiada a nivel de comunidad, donde, una comunidad está definida como el conjunto de poblaciones que están en un lugar determinado e interactúan entre sí a través de la competencia y asociaciones tróficas (Oosting y Hess, 1956; Ricklefs, 1979).

La diversidad biológica dentro de una comunidad tiene dos componentes, el recuento del número de especies que hay dentro de ella, lo que se conoce como riqueza de especies, y el recuento de todos los individuos de cada especie en dicha comunidad, siendo esta la abundancia relativa, donde las especies con mayor número de individuos llegan a ser determinadas como “comunes”, mientras que las especies con menor número de especies se las denomina “raras” (Magurran, 2004; Smith y Smith, 2007). El análisis de la diversidad dentro de una comunidad resulta muy complicado ya que, se debe incluir a organismos autótrofos y heterótrofos; por lo tanto un ensamble, un subconjunto de una comunidad clasificado a nivel taxonómico, resulta más factible de estudiar (Patterson, Willing y Stevens, 2003).

La diversidad puede ser medida en tres diferentes niveles; El primer nivel es la diversidad alfa, la diversidad local de una comunidad o hábitat; el segundo nivel es la diversidad beta, es la diferencia de especies entre dos o más hábitats o localidades y el tercer nivel es la diversidad gamma, diversidad regional, es la diversidad total de un grupo de regiones (Whittaker, 1972; Ellison, 2010). Hui y McGeoch (2014) proponen la diversidad Zeta, la cual está definida como la cantidad de especies compartidas por múltiples ensambles, unificando patrones, relaciones y medidas de diversidad para así cuantifica el set completo de todos los componentes de diversidad para múltiples ensambles.

Para la medición de la diversidad, existen índices que son usados dependiendo de la circunstancia en la que la diversidad de especies necesita ser medida, y son expresados en funciones matemáticas que combinan la riqueza y abundancia de especies dentro de una comunidad (Magurran y McGill, 2011). Una de las ventajas de los índices de diversidad es que en un solo valor resume la información sujeta a comprobación estadística, permitiendo

comparar rápidamente la diversidad de un mismo hábitat o de distintos hábitats a través del tiempo (Moreno, 2001).

El índice de Simpson es uno de los índices más simples y utilizados, este índice mide la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie, se encarga de calcular la dominancia de las especies en una comunidad (Smith y Smith, 2007). Este índice de diversidad es frecuentemente usado debido a que provee una buena estimación de la diversidad en tamaños de muestras relativamente pequeñas y clasifica los ensambles consistentemente (Magurran, 2004).

El índice de Shannon-Wiener es otro de los índices de diversidad más utilizados, y mide el grado promedio de la incertidumbre de predecir a que especie pertenece un individuo seleccionado al azar de una muestra (Moreno, 2001). Este índice se basa en la afirmación de Buzas y Gibson (1969) de que la diversidad aumenta mientras mayor equitativa es la abundancia de especies, mas no por el aumento en la riqueza de especies. Uno de los mayores problemas de este índice es su interpretaciones, ya que, mide la entropía de una comunidad mas no la diversidad en sí, provocando malas interpretaciones de los resultados obtenidos (Jost, 2006) Por esta razón, es conveniente para un correcto análisis de la diversidad, presentar datos de riqueza y de algún índice de la estructura de la comunidad, para que estos dos parámetros sean complementarios y puedan correctamente describir la diversidad (Moreno, 2001).

La medición de la diversidad es utilizada por los científicos para detectar cambios en el ambiente debido a la contaminación, el cambio climático u otros factores, además es útil para guiar decisiones de conservación y entender las similitudes y diferencias entre grupos (Jost, 2009). Otra de las incógnitas que se intenta aclarar es los patrones espaciales de la diversidad de especies, áreas de distribución y su arreglo espacial (Koleff, Soberón, Arita, Dávila, Flores-Villela, Golubov y Munguía, 2008).

En el Ecuador existe una alta diversidad de murciélagos conformada por 170 especies distribuidas en 64 géneros dentro de seis familias, en todas las regiones del país (Tirira, 2017). Según Burneo y Tirira (2014) el oriente del Ecuador es una de las zonas más diversas en especies de murciélagos, con alrededor de 50 especies, incluyendo la provincia de Napo que también cuenta con una alta diversidad de murciélagos.

3.2. GENERALIDADES DE LAS CUEVAS

Las cuevas se encuentran definidas como cavidades naturales subterráneas con áreas de completa oscuridad formadas en roca sólida, que pueden medir desde varios

milímetros de diámetro (Culver y Pipan, 2009). Existen diferentes tipos de cuevas y pueden clasificarse según el tipo de formación geológica; siendo estas originadas a partir de disolución, actividad volcánica y erosión de la tierra (Palmer, 2012). Las cuevas originadas por disolución o cuevas kársticas necesitan de las condiciones hidrológicas adecuadas para su formación, por este motivo tan solo un 15 % de las cuevas en la Tierra son de origen kárstico (Dreybrodt et al., 2005; Culver y Pipan, 2009). Generalmente este tipo de cuevas se forma a partir de la disolución de rocas sulfatadas o carbónicas que se mantiene en constante contacto con el agua logrando la formación desde pequeños túneles hasta grandes pasajes subterráneos (Davies y Morgan, 1991; Culver y White, 2005).

La formación de las cuevas kársticas solamente se da por contacto del agua con el anhídrido carbónico (CO₂) causando un cambio de pH neutro a pH levemente ácido (Dreybrodt et al., 2005). El agua levemente ácida penetra la porosidad de la roca caliza (contiene principalmente carbonatos de calcio) formando pequeñas fisuras en la roca, cuando estas fisuras alcanzan un diámetro de 0,2 mm su tamaño incrementa apresuradamente formando una red de pasajes (Culver y Pipan, 2009). Para la formación de las cuevas por disolución se puede llegar a necesitar de miles de años o más, siendo importante el volumen de agua que fluye a través de la cueva, para que la cueva llegue a tener una mayor dimensión en un mayor o menor tiempo (Sánchez, 2017).

El ambiente en una cueva, generalmente, se caracteriza por ser un lugar oscuro, húmedo, levemente alcalino o neutro y oxidante, siendo parámetros más estables con respecto a la superficie, permitiendo la producción de reacciones químicas que dan como resultado la formación de espeleotermas (estalactitas, estalagmitas, *flowstone*, etc.) (Culver y White, 2005). Las cuevas, al ser ambientes cerrados, han sido consideradas como lugares con un clima poco variable, influenciado por la variación estacional del exterior y por el intercambio de calor de las partes internas de las mismas (Gunn, 2004; Culver y Pipan, 2009). La variación diaria de la temperatura dentro de las cavernas puede ser menor de 1 °C, mientras que en la superficie puede ser mayor a 17 °C (Culver y Pipan, 2009). La humedad relativa en ambientes subterráneos es considerablemente alta llegando, en ciertos casos, hasta el 100 % (Gunn, 2004). Otra de las características de las cuevas es la ausencia de organismos fotosintéticos, lo que significa una reducción del recurso alimenticio (Sánchez, 2017).

Debido a las características mencionadas, los ambientes subterráneos han sido elegidos como refugio por varias especies animales y microorganismos, llegando a influenciar el aislamiento de algunas especies en estos ambientes (Culver y Pipan, 2010). La adaptación de las especies a nivel morfológico, fisiológico y comportamental es lo que

les ha permitido vivir bajo estas condiciones (Aden, 2005). Por ejemplo, algunas especies subterráneas han evolucionado para este tipo de hábitats mediante la despigmentación y la pérdida de los ojos, elongación de los apéndices, pérdida de alas, reducción en la producción de huevos, reducción del metabolismo respiratorio, entre otras características (Christiansen, 2005; Niemiller y Soares, 2015).

Los organismos presentes en las cuevas se pueden distinguir en dos principales grupos: los visitantes temporales de las cavernas y los habitantes obligatorios (Culver y Pipan, 2009; Novak, Perc, Lipovšek, y Janžekovič, 2012). Sin embargo, para un mejor estudio de las especies habitantes de las cuevas se han llegado a clasificar en tres categorías según la relación que tienen con respecto al ambiente subterráneo (Sket, 2008; Niemiller y Soares, 2015): 1) Los Troglóxenos, son especies que habitan en la superficie pero casualmente usan recursos subterráneos; 2) Los Troglófilos, son animales que utilizan ambos ambientes constantemente, el medio subterráneo y superficial; y, 3) Los Troglobios, son especies exclusivamente adaptados a la vida subterránea (Trajano, 2012; Trajano y Carvalho, 2017).

Algunos de los invertebrados que se pueden encontrar dentro de las cuevas son: planarias, oligoquetos del orden Lumbiculida y Tubificida, caracoles de la familia Hydrobiidae, crustáceos del orden Isopoda, Escorpiones, pseudoescorpiones, opiliones, ambliپیgidos, ácaros, colémbolas y más (Gunn, 2004; Culver y Pipan, 2009). En el grupo de los vertebrados que se pueden encontrar dentro de las cavernas están las Salamandras de los géneros *Proteus*, *Eurycea*, *Gyrinophilus* y *Typhlotriton*, alrededor de 300 especies de peces mayormente de los órdenes Cypriniformes (Cyprinidae y Nemacheilidae) y Siluriformes (Trichomycteridae y Heptateridae), algunas especies de aves, por ejemplo; Guácharo (*Steatornis caripensis*), Gallito de las rocas guayanés (*Rupicola rupicola*) y Salangana gigante (*Hydrochous giga*) y algunos mamíferos tales como: ratones del género *Neotoma*, murciélagos como *Rousettus aegyptiacus*, *Myotis emarginatus* (Tvrtkovic, 2005; Culver y Pipan, 2009; Niemiller y Soares, 2015). En las cuevas de Napo se han encontrado algunos grupos de invertebrados como: Ambliپیgi, Hemíptera, Decapoda, Arthropoda, Arachnida y en el grupo de vertebrados principalmente se encuentran a los quirópteros (Sánchez, 2017).

El sistema de cuevas presentes en la amazonia ecuatoriana son mayormente de origen kárstico, debido a la abundancia de roca caliza en estos sectores, especialmente en los cantones de la provincia de Napo: Tena, Archidona y parte de Arosemena Tola (Toulkeridis et al., 2015; Sánchez, 2017). La edad aproximada de las rocas calizas de Napo puede llegar a tener entre 176 y 25 millones de años de antigüedad (Sánchez, 2017).

Existen pocos estudios sobre la diversidad de murciélagos cavernícolas en Ecuador, mientras que en otras cuevas no se ha investigado la biodiversidad que estas podrían tener (Albuja, 1983; Clemente, 2015; Toulkeridis et al., 2015; Sánchez, 2017). El estudio de las cuevas del Ecuador es de suma importancia, debido a la escasa investigación mencionada anteriormente. Estudios en otros países demuestran que se podría encontrar una amplia variedad de murciélagos dependientes de estos refugios (Gunn, 2004; Ladle, Firmino, Malhado y Rodríguez-Durán, 2012; Silva y Ferreira, 2015; Medellín et al., 2017).

3.3 MURCIÉLAGOS

El orden Chiroptera es uno de los grupos más diversos y exitosos dentro de los mamíferos, con más de 1100 especies en todo el mundo, a excepción de la Antártida; sus características únicas han permitido su extensión en diversos nichos ecológicos (Fenton y Simmons, 2014). Entre las características más sobresalientes de los murciélagos están: su capacidad de volar, la ecolocación y hábitos nocturnos (Tirira, 2017). Los murciélagos tienen diferentes tipos de dietas, sitios de percha, patrones de reproducción, organización social (Barclay, Harder, Kunz y Fenton, 2003).

Para poder volar los murciélagos han modificado su anatomía, mediante la elongación de sus dedos y brazos que sirven de soporte a la delgada extensión de piel que les sirve como alas (Altringham, 2011). Gracias al vuelo los murciélagos pueden acceder a recursos inasequibles para mamíferos terrestres, y permiten a ciertas especies migrar largas distancias para evitar periodos de escases durante el invierno (Kunz y Fenton, 2003). La ecolocación es utilizada por los murciélagos para la detección y captura de presas, navegación y comunicación (Murray y Kunz, 2005). Ellos emiten sonidos vocales desde 20 hasta 120 kHz de frecuencia, las ondas emitidas chocan con los objetos, el eco de las ondas es captado por el emisor, permitiendo calcular la distancia, tamaño y forma de los objetos, dirección de vuelo y elección de su alimento (Tirira, 2017).

Los murciélagos se mantienen activos durante la noche y descansan durante el día; por lo tanto, pasan la mitad de su vida sujetos a las condiciones de sus refugios (Kunz, 1982). La elección de refugio puede variar dependiendo la familia e, inclusive, la especie, los sitios de elección pueden variar entre troncos, árboles, hojas plegadas y refugios subterráneos como cuevas (Lewis, 1995). Los murciélagos utilizan las cavernas para protección ante climas adversos y protegerse contra la pérdida de agua en el cuerpo, evitar predadores, como sitios de apareamiento, hibernación y criaderos de recién nacidos,

igualmente permiten las interacciones sociales intra e interespecificas (Kunz, 1982; Kunz y Fenton, 2003; Furey y Racey, 2016). A pesar de los beneficios que otorga vivir en las cuevas, también existen desventajas como: presencia de depredadores, ectoparásitos, transmisión de enfermedades y escases de alimento en la zona (Lewis, 1995; Murray y Kunz, 2005). Para contrarrestar estas desventajas las especies pueden cambiar frecuentemente de sitios refugio, por ejemplo, en las cuevas El Repechón, Bolivia, Siles y Aguirre (2007) encontraron por medio de captura y recaptura que los individuos se trasladaban de una cueva a otra cercana.

Dentro de las cuevas, la elección de refugio por parte de los murciélagos se ve influenciada por varios factores físicos, principalmente temperatura, humedad y el flujo de aire (Furey y Racey, 2016). Estos factores se encuentran relacionados con la capacidad que cada especie o familia tiene para conservar el calor (Kunz, 1982; Ávila-Flores y Medellín, 2004). Por ejemplo, en un estudio de cavernas en México se observó que especies heterotérmicas de la familia Vespertilionidae prefieren cuevas más frías (1,6-29,8 °C), mientras que especies homeotérmicas de las familias Emballonuridae, Mormoopidae, Phyllostomidae y Natalidae prefieren cuevas más calientes (14,5-37,5 °C) (Ávila-Flores y Medellín, 2004). El área de las cuevas también es un factor influyente para los murciélagos al momento de escoger su lugar de refugio ya que las cuevas con mayor área tienden a tener mayores poblaciones de murciélagos (Brunet y Medellín, 2001; Aguirre, 2007).

El guano, producido por los murciélagos, constituye una fuente de energía primaria en el ecosistema de las cavernas y permite la supervivencia de una considerable proporción de invertebrados en las cuevas del trópico. Estos invertebrados se llaman guanófilos o guanobiontes (Trajano, 1995; Furey y Racey, 2016). Los murciélagos con respecto a las cuevas son considerados troglófilos, ya que se refugian dentro de las cuevas pero cumplen una o algunas partes de su ciclo de vida en la superficie (Murray y Kunz, 2005).

El tipo de alimentación en los murciélagos es muy variado, la mayoría de las especies se alimenta de insectos y otros artrópodos, otros se alimentan de peces, reptiles, anfibios, aves, mamíferos, frutas, néctar, polen, hojas y semillas y por último sangre (Altringham, 2011). Debido a esta variada dieta, los murciélagos ocupan una variedad de nichos ecológicos, lo cual les ha otorgado un rol en la salud del ecosistema, además, otorgan servicios ecosistémicos (Murray y Kunz, 2005; Jones, Jacobs, Kunz, Willig y Racey, 2009). En general, los murciélagos controlan las poblaciones de insectos, polinizan ciertas especies de plantas polinizadores y ayudan a la dispersión de semillas (Kunz, Braun de Torrez, Bauer, Lobova y Fleming, 2011).

Los murciélagos insectívoros son consumidores primarios de los insectos nocturnos, es así que tienen un rol muy importante en el control de plagas en plantaciones de café, pepino, maíz (Jones et al., 2009). Especies como: *Myotis lucifugus*, *Lasiurus cinereus* y *Eptesicus fuscus* pueden consumir en cautiverio el 25 % de su masa corporal en insectos y en condiciones naturales este estimado podría incrementar (Kunz et al., 2011). Las flores del cactus *Pachycereus pecten-aboriginum* del trópico se abren durante la noche y se cierra temprano en la mañana permitiendo que el murciélago nectarívoro *Leptonycteris curasoae* se alimente y polinice sus flores (Valiente-Banuet, Molina-Freaner, Torres, del Coro Arizmendi y Casas, 2004). La dispersión de semillas a cargo de los murciélagos favorece hasta el 95 % del crecimiento forestal (Tuttle, 1997); ya que son dispersores frecuentes de plantas pioneras como *Solanum* y *Piper*, ayudando a la reforestación de lugares desolados (Jones et al., 2009).

3.4 ECOTURISMO

El ecoturismo, es un enfoque turístico dirigido hacia actividades donde el eje principal se basa en la sustentabilidad, preservación y apreciación del medio que acoge a los visitantes (González, 2008), además ha permitido mejorar el estilo de vida y alentar el empoderamiento de las comunidades locales que se encargan de ofrecer este servicio (Horton, 2009). Debido a este acercamiento a la naturaleza se ha propuesto el turismo de aventura, el cual ofrece actividades donde se afrontan desafíos extremos en lugares naturales, así teniendo un compromiso teórico con la sustentabilidad (Díaz, 2012). Debido a sus beneficios económicos, en los años noventa, algunos grupos de indígenas de los países menos desarrollados han acogido a este tipo de turismo como parte de su estrategia de desarrollo (Wesche, 1996).

Las comunidades indígenas no son las únicas que se benefician del ecoturismo, las especies que habitan dentro de estos lugares son protegidas y conservadas por las comunidades, ya que son parte de la atracción que los turistas buscan (Wesche, 1996). Un ejemplo de esto son los murciélagos, ya que en las zonas protegidas la población de murciélagos ha incrementado, siendo un éxito turístico en lugares como Hacienda Baru Refugio Nacional de Vida Silvestre en Costa Rica (Pennisi, Holland y Stein, 2004); sin embargo, se ha encontrado que el turismo dentro de cuevas (espeleoturismo) puede incrementar la amenaza a todo tipo de vida dentro de las cavernas, ya que este tipo de turismo involucra la introducción de luz artificial, además de modificaciones en la estructura de la entrada, instalación de escaleras, pasamanos y parqueaderos (Furey y Racey, 2016). Estas

modificaciones podrían llegar a perturbar a los habitantes de las cuevas; además, el alto número de visitas, bloqueo y obstaculización de entradas, perturbación por parte de turistas, iluminación muy potente, entre otras actividades ha llegado a desplazar principalmente a las comunidades de murciélagos cavernícolas (Trajano, 1995; Struebig et al., 2009; Biswas, Shrotriya, Rajput, y Sasmal, 2011).

Para evitar el disturbar a la comunidad de murciélagos y continuar explotando las cuevas como lugares turísticos, se han tomado ciertas medidas como limitar el número de visitas y el impacto durante ciertos ciclos de vida de los murciélagos (maternidad e hibernación), restringir la entrada de turistas a lugares dentro de la cueva donde los murciélagos son vulnerables ante el disturbio, estas medidas a tomar no solo evitan el desplazamiento de murciélagos, sino que también permite el incremento de las poblaciones (Arita, 1996).

Debido al gran aporte que tienen los murciélagos sobre los ecosistemas, tanto subterráneos como superficiales, se han conformado grupos dispuestos a conservar las comunidades de murciélagos, mediante programas de conservación, en la que se incluye disminución del disturbio, informar a las personas sobre la importancia de los murciélagos y la investigación permitirán que los murciélagos sigan aportando al equilibrio del ecosistema (Burneo, Proaño y Tirira, 2015, Furey y Racey, 2016).

En la provincia de Napo, el ecoturismo se encuentra vigente desde los años ochenta, siendo una de las actividades principales dentro de los planes de desarrollo sustentable de los pueblos y comunidades que se encuentran en zonas frágiles como la Amazonia (Toulkeridis et al., 2015). Los recursos que esta provincia provee son aprovechados para la atracción de los turistas, entre las atracciones que ofrece se encuentran las cavernas, siendo más abundantes dentro de los cantones Archidona y Tena (Sánchez, 2017). Las cuevas son aprovechadas por las comunidades y propietarios de terrenos para generar una fuente de ingreso y también una forma de conservar y proteger los bosques de la provincia de Napo (Toulkeridis et al., 2015).

El presente estudio busca conocer la composición de las comunidades de murciélagos y explicarla en relación a variables ecológicas que caracterizan a las cuevas de estudio. Además, permitirá determinar si el turismo espeleológico tiene impacto sobre las poblaciones de murciélagos de cuevas de uso turístico. De esta forma se pueden proponer planes de manejo para reducir dicho impacto, si fuera necesario.

4 OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar los factores ecológicos que determinan la composición de comunidades de murciélagos en cuevas de la provincia de Napo y los efectos que puede causar el turismo espeleológico en dichas comunidades.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar la diversidad de murciélagos en varias cuevas de Napo.
- Identificar variables ecológicas que influyen en la diversidad de murciélagos en cada una de las cuevas.
- Determinar el impacto que puede tener el turismo en la comunidad de murciélagos del sistema de cuevas del Napo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

La provincia de Napo se encuentra ubicada en la zona nororiental del Ecuador. El clima de esta provincia se caracteriza por tener una humedad relativa del 80 % y una temperatura promedio de 25 °C, siendo este un clima trópico húmedo (Clemente, 2015). Dentro de esta provincia, en los cantones Tena y Archidona, se pueden encontrar varios sistemas de cuevas kársticas. De todas las cuevas que existen en estos dos cantones, ocho fueron seleccionadas para el estudio, cuatro de las cuáles están siendo utilizadas como atractivos turísticos.

5.1.1. DESCRIPCIÓN DE LAS CUEVAS

- **El Toglo**

Se ubica en la localidad Santa Rosa vía a Puerto Napo en el cantón Tena, a una altitud de 565 m. Una de las entradas (coordenadas 1.03073 S, 77.80157 O) se encuentra a 60 metros de la carretera, pero la densa vegetación que ahí se encuentra mantiene escondida esta entrada. (Toulkeridis et al., 2015). La cueva tiene una longitud total de 450 metros y posee tres entradas; la forma serpenteante de la cueva es interrumpida por un pequeño riachuelo que circula de sur a norte y las cúpulas alcanzan hasta los tres metros de altura (Martin-Solano, Toulkeridis, Addison & Pozo-Rivera, 2016). Dentro de la cueva podemos encontrar diversas especies de mamíferos, principalmente murciélagos, reptiles, anfibios e invertebrados, como arañas y grillos (Toulkeridis et al., 2015). Esta cueva no ha sido usada completamente para el turismo pero de vez en cuando se reciben visitantes.

- **Templo de Ceremonias**

El sistema de cuevas perteneciente al Centro Turístico Comunitario Chikillu se encuentra en el km 9 de la vía Archidona - Quito, en la Comunidad Mondayacu, cantón Archidona, a una altitud de 848 m (Toulkeridis et al., 2015). Este sistema consta de tres cavernas, siendo Templo de Ceremonias una de ellas. Esta cueva posee dos entradas con las siguientes coordenadas: 0.84276 S, 77.77839 O y 0.84199 S, 77.77726 O.

El nombre de la caverna se debe a que en tiempos pasados se realizaban ceremonias, sobre todo bodas, ya que los espíritus bendecían el compromiso de los novios (Toulkeridis et al., 2015). Esta cueva es utilizada como atractivo turístico y el ingreso lo

hacen por las dos entradas, dentro de la cueva se encuentran cúpulas que alcanzan hasta los 7 m de altura y un riachuelo que no ocupa toda la cueva. En Templo se puede encontrar animales como murciélagos, arañas, insectos y ranas (Toulkeridis et al., 2015).

- **Elefante**

Esta cueva también forma parte del sistema de cuevas perteneciente al Centro Turístico Comunitario Chikillu, se encuentra un poco más alejada del parqueadero del centro de interpretación. Esta caverna posee dos entradas con las siguientes coordenadas: 0.84410 S, 77.78075 O y 0.84322 S, 77.777.891 O. Elefante está siendo utilizada para turismo de aventura debido a la complejidad de la caverna y además posee un río que puede llegar a crecer demasiado en días de lluvia.

- **Uctu iji changa**

A diez minutos de la ciudad del Tena, en el cantón Tena, se encuentra la comunidad Awapungo, donde se puede encontrar la finca Tamiayura a una altitud de 617 m, dentro de esta finca se ubica el sistema de Cuevas Tamiayura, que cuenta con dos cuevas, una de éstas es la cueva Uctu iji changa (Toulkeridis et al., 2015). Esta cueva es usada como atractivo turístico, para llegar a la entrada de la cueva se debe caminar aproximadamente diez minutos por un sendero.

La entrada (0.96914 S, 77.79742 O) se encuentra al nivel del suelo y hay que descender con ayuda de unas escaleras de madera elaboradas por la comunidad; un riachuelo que atraviesa toda la cueva, en el transcurso de la caverna se puede observar en las paredes fósiles de conchas y está habitada principalmente murciélagos, insectos y arañas.

- **Cueva de los Murciélagos**

Esta cueva forma parte del sistema de cuevas de Tamiayura, se encuentra muy cerca de un campo de cultivo, al lado de la entrada corre un río (0.97156 S, 77.79832 O). Entrando en la cueva a unos pocos metros se puede observar una abertura de la cueva por donde ingresa la luz solar, además conforme se ingresa a la cueva se vuelve más estrecha impidiendo llegar hasta el final. Dentro de la cueva se puede encontrar un riachuelo, donde se observan peces; las cúpulas llegan a medir hasta cuatro metros de altura.

- **Lluskayacu 2**

En el cantón Archidona se encuentra la comunidad Aguayacu a una altitud de 700 m, en este lugar se pueden encontrar cuatro cuevas que no han sido explotadas turísticamente pero la comunidad está empezando un proyecto turístico. La cueva Lluskayacu 2 tiene dos entradas; la primera con coordenadas 0.89511 S, 77.77209 O, es la

más cercana a la carretera a 192 m de distancia y está ubicada al borde de una quebrada en su parte superior, la entrada es estrecha. La segunda entrada con coordenadas 0.89254 S, 77.76945 O, se encuentra a 485 m de distancia de la carretera. Dentro de la caverna se encuentra un riachuelo poco profundo, además se puede encontrar plántulas y animales como murciélagos, serpientes, insectos y arañas.

- **Mayanchi**

Es la segunda cueva del sistema de cuevas Aguayacu, la cual tiene dos entradas; la primera con coordenadas 0.89488 S, 77.77233 O se encuentra a 235 m de la carretera, es un lugar con abundante vegetación y la entrada se encuentra en una pared; la segunda entrada tiene coordenadas 0.89511 S, 77.77382 O, a 668 m de la salida a la carretera, alrededor de esta entrada se encuentran cultivos de plátano, cacao, entre otros.

- **Aguayacu**

Esta fue la tercera cueva en ser visitada dentro del sistema Aguayacu y posee una sola entrada que tiene coordenadas: 0.89506 S, 77.77384 O y se encuentra a 413 m del centro de interpretación. La caverna tiene cúpulas amplias que llegan a los 4,8 metros de altura. Se han encontrado huellas de animales y la comunidad cuenta que es el refugio de algunos mamíferos, además se encontró una población de murciélago vampiro común, *Desmodus rotundus*.

5.2. METODOLOGÍA

5.2.1. MUESTREO DE CUEVAS

En un periodo de nueve meses, desde octubre de 2016 y junio de 2017 se realizó el muestreo de las ocho cuevas en seis salidas de campo. En cada cueva se emplearon visitas de dos noches y tres días. Durante la mañana se recorría la cueva con ayuda de tres asistentes. Para el mapeo de las cuevas se usó distanciómetro DmioTECH (precisión de 1,5 mm) láser y brújula. Con el distanciómetro se tomaba la distancia en metros de una pared a la siguiente, mientras que con la brújula se obtenía la orientación de la línea de distancia para tener mayor precisión al dibujar el recorrido de la cueva así como la amplitud en cada sección de la cueva. Con estas medidas se realizó un mapa de cada cueva para poder determinar los sitios donde los datos fueron tomados.

Simultáneamente se tomaron medidas de altura y ancho de las cúpulas donde se encontraban refugiados los murciélagos, con un termohigrómetro REED instruments LM-8000 se obtuvieron datos de temperatura y humedad para poder determinar los lugares de preferencia por los murciélagos para ser usados como sitios de percha. Las coordenadas de las entradas de cada cueva fueron tomadas como puntos de referencia para la ubicación en el mapa.

5.2.2. CAPTURA DE MURCIÉLAGOS

Durante las noches, entre las 18:30 y las 23:30 h se colocó en la entrada de cada cueva una red de neblina (12 x 3 m) para la captura de murciélagos cavernícolas. La captura de las especies dentro de las cavernas se realizó, en la mañana, con la ayuda de dos redes de mano el recorrido tuvo una duración aproximada de cuatro horas, a partir de las 9 a.m. hasta la 1 p.m. Para poder cuantificar el número de individuos encontrados, se tomaron fotografías de las cúpulas donde estaban posados los especímenes y, posteriormente, se contaron los murciélagos que se podían observar en las fotografías.

Los murciélagos capturados fueron identificados en base a la Guía de Campo de los Mamíferos del Ecuador de Tirira (2007) y publicaciones posteriores y la confirmación de las identificaciones fueron realizadas en el Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QCAZ-M) (Camacho, 2014a). Se conservaron por lo menos dos individuos testigo (macho y hembra) de cada especie para confirmar su identificación en el laboratorio mediante el protocolo de Camacho (2014b). A los individuos testigo se les extrajo una muestra de tejido muscular y hepático, que fueron conservados en alcohol al 90 % (Camacho, 2014b), para posteriormente ser conservados en la sección de Mastozoología del Museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (QCAZ-M) y aportar con la confirmación de la identificación en campo.

5.2.3. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD ALFA DE CADA CUEVA

Para conocer la diversidad α de cada cueva se utilizó el índice de equidad de Shannon y el índice de α de Fisher, con ayuda del programa PAST 3.16. El índice de Shannon asume que todas las especies se encuentran representadas en la muestra y que los individuos son seleccionados al azar (Moreno, 2001). Toma en cuenta el grado de igualdad en la abundancia de las especies, es decir la mayor diversidad de especies se encontrará

cuando todas las especies tengan un mismo número de individuos por especie, tomando el valor de cero cuando hay una sola especie (Magurran, 2004), por lo tanto, mide equidad como propiedad emergente de la diversidad. Su fórmula es:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

donde:

p_i = proporción de individuos de la especie i . En una muestra, el verdadero valor de p_i es desconocido, pero se estima utilizando su estimador de máxima verosimilitud n_i/N (Magurran, 2004).

n_i = el número de individuos de la especie i que están contenidos en la muestra aleatoria seleccionada.

N = número total de individuos (Bouza y Covarrubias, 2005).

El índice del α de Fisher describe matemáticamente la relación entre el número de especies y el número de individuos de cada especie (Magurran, 2004). La abundancia de especies tiene una distribución serie-logarítmica, donde el número total de individuos es N , y p es una proporción constante por lo tanto la especie más común tendrá un pN número de individuos, la siguiente especie más común, $p(1-p)N$, la siguiente tendrá $p(1-p)^2N$ y así sucesivamente (Rosenzweig, 1995). Esto quiere decir que el número esperado de especies será mayor en las clases con menor abundancia y declinará en adelante (Magurran, 2004). Este índice se puede usar inclusive cuando la abundancia de especies no tiene una distribución serie-logarítmica. La siguiente forma se aplica para obtener el α de Fisher

$$S = -\alpha \ln(1 - x)$$

donde:

α = Es un índice de diversidad y representa el número de especies extremadamente raras, donde solo se espera un solo individuo.

x = es una variable que depende del tamaño de muestra.

5.2.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ECOLÓGICAS QUE INFLUYEN EN LA DIVERSIDAD DE MURCIÉLAGOS CAVERNÍCOLAS

Para la determinación de las variables ecológicas que permiten una mayor presencia de murciélagos dentro de las cuevas se obtuvo la temperatura y humedad promedio con los datos obtenidos recolectados en cada sección de la cueva. El área de las cuevas fue

calculada con el programa ImagenJ, usando los mapas proporcionados por Ikiam. La correlación de rango de Spearman (r_s) fue utilizada para determinar la relación entre las variables ecológicas (temperatura, humedad) y área de cada cueva con la diversidad de Shannon y el Alfa de Fisher (Dixon, 2011).

La correlación de rango de Spearman (r_s) mide la correspondencia entre rangos, haciendo que no sea necesaria una medida de correlación lineal, es decir que no es necesario que los datos pertenezcan a una distribución normal bivariada (Sánchez-Otero, 2015). La ecuación a aplicar es la siguiente:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n^3 - n}$$

donde,

$\sum d_i^2$ = Suma de los cuadrado de las diferencia entre pares de rangos

n = Numero de pares de rangos o pares de datos.

La aplicación de un análisis canónico de correspondencias (CCA) ayuda a la ilustración de la relación entre las variables ecológicas de las cuevas y la preferencia de estas variables por parte de cada especie de murciélago. Este análisis permite observar patrones de variación en la composición de comunidades explicados por una serie de variables ambientales conocidas; el análisis se representa de manera gráfica donde la posición de los sitios son representados por puntos representa la similitud entre la composición de especies y los vectores representan las variables ambientales, siendo su magnitud y dirección dependientes de su variación (Sánchez-Otero, 2015).

Los datos de temperatura y humedad fueron estandarizados para eliminar el efecto de las unidades al realizar el análisis, por lo tanto tomaron valores de 0 a 9; siendo 9 el valor más alto en ambas variables.

La correlación de Spearman se realizó en el programa estadístico IBM SPSS 2.2, mientras que el análisis canónico de correspondencias fue realizado en el programa estadístico PAST 3.16

5.2.5. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO QUE PUEDE CAUSAR EL TURISMO EN LA COMUNIDAD DE MURCIÉLAGOS

La diversidad β se estimó bajo el índice de Whittaker, el cual se basa en los datos de presencia-ausencia de las especies, es decir examina la diferencia entre dos o más áreas con diversidad α relativa a diversidad γ (Magurran, 2004). Este índice de diversidad β fue

seleccionado debido a que es el más robusto para medir el remplazo entre comunidades (Moreno, 2001). Su fórmula es:

$$\beta_w = S/\bar{\alpha}$$

donde

S = el número total de especies registrado en el sistema.

α = diversidad promedio de la muestra, donde cada muestra es un tamaño estandarizado y la diversidad se mide como riqueza de especies (Magurran, 2004).

Se realizará una comparación de la diversidad β entre cuevas turísticas y no turísticas y junto con la información de las visitas realizadas en las cuevas turísticas, a través de entrevistas a guías, se podrá conocer si el turismo puede ser un factor que influye negativamente en la composición de comunidades de murciélagos que las habitan. El análisis estadístico será efectuado en el programa PAST 3.26 mientras que las entrevistas serán analizadas mediante el software Atlas TI, para poder tener datos cuantificables de las mismas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. CAPTURA DE MURCIÉLAGOS

Se calculó un esfuerzo de muestreo en redes de neblina para cada cueva de 10 h durante dos noches, en total se realizaron 80 horas de muestreo en 16 noches. El esfuerzo de muestreo con redes de mano, fue 12 h de muestreo por tres días en cada cueva, en total se realizaron 98 h de muestreo en 24 días.

Junto con las capturas, observaciones y las fotografías, se registraron un total de 290 individuos y nueve especies de murciélagos representantes de las familias Phyllostomidae y Emballonuridae (Tabla 1). El mayor número de especies de murciélagos cavernícolas que se ha registrado en el Neotrópico es de 21 especies en la Gruta dos Moura en Brasil, mientras que en otros países de Latinoamérica como México, Colombia, Honduras, Bolivia, Venezuela y Cuba se han registrado desde una hasta doce especies por cueva (Felix, Novaes, Souza y Avilla, 2016). Las cuevas analizadas en este estudio tienen entre tres a cinco especies por cueva.

De las dos familias registradas en el presente estudio, la primera, Phyllostomidae, cuenta con ocho especies mientras que la segunda, Emballonuridae, solo se registró una especie. El murciélago común de cola corta (*Carollia perspicillata*) fue la especie más abundante con un total de 78 individuos, seguido del murciélago nectarívoro de Handley (*Lonchophylla handleyi*) con un total de 57 individuos. La especie menos abundante fue el murciélago longirostro castaño (*Lionycteris spurrelli*) con un individuo capturado.

En la cueva El Toglo (Figura 1), de 320,5 m de longitud, se encontraron individuos del vampiro común, *Desmodus rotundus*, que se encontraban perchando a 12,8 m de distancia de la entrada, mientras que a 64,9 m de la entrada hay una cúpula de gran tamaño que alcanza los 12 m de altura y 3,6 m de ancho, donde se encontró una alta densidad de individuos de las especies *Lonchophylla handleyi*, *Carollia perspicillata* y el murciélago sedoso de cola corta (*Carollia brevicauda*). A 125,2 m y 176,4 m se encontró el mismo patrón de especies, con la diferencia de que en las fotografías obtenidas se puede observar en el último punto se encontraron más individuos de *Lonchophylla handleyi*. En la entrada ubicada hacia el norte con red de neblina se capturó un murciélago de nariz de lanza común (*Lonchorrhina aurita*), pero dentro de la cueva no se observó o capturo ningún individuo.

Las especies presentes en la cueva de Uctu iji changa fueron el murciélago de nariz ancha marrón (*Platyrrhinus infuscus*) y *D. rotundus*, observadas a 46,4 m de distancia de la

entrada de la cueva, mientras que *Carollia brevicauda* se encontró a 61 m y 79 m de la entrada de la cueva; la cueva tiene una distancia de 1123,4 m. En la misma comunidad, está ubicada la Cueva los Murciélagos, aquí se registraron individuos del murciélago menor cara de perro (*Peropteryx macrotis*) a 8,8 m y 53,4 m de distancia de la entrada de la cueva y *Carollia brevicauda* a 67,2 m y 100,2 m lejos de la entrada de la cueva. Hacia el interior de la cueva no se encontraron más individuos, debido a que la cueva se estrechaba complicado el ingreso a esta zona, por lo tanto no se logró mapear por completo esta cueva, llegando solo a los 173,5 m de distancia.

En la comunidad Aguayacu dentro de la cueva Lluskeyacu 2, se encontró individuos de *Peropteryx macrotis* a 9,6 m de la primera entrada y en la segunda entrada a 18,6 m, 25,5 m y a 51,7 m. La especie *Platyrrhinus infuscus* fue encontrada a 70,8 m de la segunda entrada de la cueva. *Lonchophylla robusta* fue capturada lejos de las dos entradas de la cueva, a una distancia aproximada de 202,3 m de la primera entrada y a 219,1 m de la segunda entrada. *Carollia brevicauda* se encontraba a 9,6 m de la primera entrada y a 98,9 m de la segunda entrada, además algunos se encontraron en las redes de neblina. El murciélago de nariz de lanza común (*Lonchorhina aurita*) se encontró solo en las redes de neblina y no se logró observar en otros lugares dentro de la cueva. La distancia total de esta cueva llega a los 457,2 m.

Mayanchi, otra de las cuevas de la comunidad Aguayacu, tiene una distancia de 238,2 m; a 6,9 m de la entrada de la caverna se encontró a *Carollia brevicauda*. A 15,4 m de la entrada de la cueva se observó individuos de *Peropteryx macrotis* compartiendo sitio de refugio con *Carollia brevicauda*. *Platyrrhinus infuscus* fue capturado únicamente en red de neblina. En la cueva Aguayacu, en los 189 m de distancia que tiene esta caverna se encontraron algunos individuos de *Carollia perspicillata* en la cúpula más grande a una distancia de 73,2 m de la entrada. *D. rotundus* fue observado en la primera cúpula de la cueva ubicada a 13,9 m de la entrada, además se capturaron en redes de neblina algunos individuos. Dentro de la cueva se encontró un solo individuo de *Lionycteris spurelli*, pero no se logró registrar el lugar donde fue capturado.

Templo ceremonial tiene una longitud de 251,8 m, donde se pudo observar *Peropteryx macrotis* a 26,6 m de la entrada perchando en la primera cúpula con una altura de aproximadamente 4 m, también en esta zona se pudo encontrar algunos individuos de *Carollia brevicauda*. La especie *Lonchophylla robusta* fue capturada en la segunda cúpula de la cueva que está a 80,8 m de la entrada. Las especies *Lonchorhina aurita* y *D. rotundus* fueron capturadas en red de neblina en la entrada, por lo tanto no se observó su lugar de preferencia dentro de la cueva. En la caverna Elefante, se encontró solo a la especie *D.*

rotundus, debido a la dificultad de acceso en la cueva y la abundancia de agua en su interior no se pudo capturar más murciélagos, pero en red de neblina de ambas entradas se capturaron las especies *Carollia brevicauda*, *Lonchophylla robusta* y *P. infuscus*.

C. perspicillata, *C. brevicauda* y *D. rotundus*, son murciélagos que se encuentran con mayor frecuencia dentro de cuevas y han sido registrados en varios países como Colombia, Brasil y Perú (Trajano, 1995; Trajano y Gimenez, 1998; Siles, Muñoz y Aguirre, 2007; Pérez-Torres *et al.*, 2015). Las otras especies capturadas que se nombran en el estudio también han sido observadas en cuevas previamente (Arita, 1993; Trajano y Gimenez, 1998; Voss, Fleck, Strauss, Velazco y Simmons, 2016; Tirira, 2017); sin embargo, debido a los escasos estudios de murciélagos cavernícolas en el Neotrópico, los datos ecológicos recolectados de estas especies son pobres o nulos (Felix *et al.*, 20016).

Desmodus rotundus es una especie que se encuentra en mayor cantidad en las cuevas de origen kárstico debido a que es una especie oportunista, se ha apoderado de estos lugares llegando a desplazar otras especies habitantes de estos refugios, ya que los vampiros se agrupan en grandes poblaciones en algunas cuevas (Trajano, 1995). Esta especie forma grupos pequeños en grietas profundas ubicadas en el techo a pocos metros de la entrada de las cuevas (Pérez-Torres *et al.*, 2015).

C. perspicillata es otra de las especies que se puede encontrar con gran frecuencia dentro de las cuevas, esta especie es conocida por ser oportunista, aprovechando refugios disponibles como es el caso de las cuevas (Trajano y Gimenez, 1998). Los individuos de esta especie se encuentran en los primeros metros de las cuevas y forman desde pequeños hasta grandes grupos que pueden ser harenes o maternidades (Pérez-Torres *et al.*, 2015; Trajano y Gimenez, 1998). La especie *L. spurelli* también ha sido reportada como ocupante de las cuevas asociadas a bosques siempre verdes y es considerada una especie difícil de capturar, siendo común que se reporten pocos (Trajano y Gimenez, 1998; Trajano, 1995; Tirira, 2017).

Los registros de los murciélagos cavernícolas en el Ecuador son muy escasos. En la cueva de Los Tayos, Albuja (1983) reportó la presencia de *Lonchophylla handleyi*, *Carollia perspicillata* en la cueva de Palenque y *Desmodus rotundus* en la cueva de Jumandi. Linares y Naranjo (1973) compararon especímenes de *Lonchorhina aurita* de la cueva de Archidona con ejemplares de Venezuela y Trinidad para evaluar si pertenecían a la misma especie. Tirira (2017) en su *Guía de Campo de Mamíferos del Ecuador* describe los refugios utilizados por las especies encontradas en este estudio, mencionando a la cueva como uno de esos sitios de percha, igualmente en el portal Bioweb de la Pontificia

Universidad Católica del Ecuador (Brito, Camacho, Romero y Vallejo, 2018), se describen todas las especies, registradas en este proyecto, como habitantes de las cuevas.

6.2. ANÁLISIS DE DIVERSIDAD ALFA DE CADA CUEVA

En el estudio se realizó una aproximación de la abundancia de las especies *Carollia perspicillata* y *Carollia brevicauda* en la cueva El Toglo, debido a que no se pudo identificar la diferencia de estas dos especies en las fotografías, pero con las capturas en red de mano se obtuvo una relación de 3:1 respectivamente. Siles y colaboradores (2007), también encontraron en las cuevas del Repechón en Bolivia una mayor presencia de *Carollia perspicillata* que de *Carollia brevicauda*.

Como se observa en la Figura 9, la cueva con un mayor índice de Shannon es Lluskeyacu 2 ($H' = 1,4$), y como indica la matriz de datos (Tabla.1), dentro de la cueva se encontraron un total de cinco especies y 37 individuos, dos insectívoros (*P. macrotis* y *L. aurita*), un nectarívoro (*L. robusta*) y dos frugívoros (*C. perspicillata* y *P. infuscus*). Hace tres años en la cueva Templo de Ceremonias, se utilizó veneno (crema blanca) para reducir la población de *D. rotundus* afectando a todo el ensamble de murciélagos (W. Grefa, comunicación personal, 8 diciembre de 2016), sin embargo resultó ser la segunda cueva con mayor índice de Shannon ($H' = 1,26$), con un total de cinco especies y 23 individuos: dos insectívoros (*P. macrotis* y *L. aurita*), un frugívoro (*C. brevicauda*), un hematófago (*D. rotundus*) y un nectarívoro (*L. robusta*). La cueva con el menor índice de Shannon fue Aguayacu ($H' = 0,61$), donde se encontró un total de tres especies y 48 individuos, siendo estos un frugívoro (*C. perspicillata*), un nectarívoro (*L. spurrelli*) y un hematófago (*D. rotundus*).

La cueva Elefante ($S = 2,76$) resulta ser el sitio con el alfa de Fisher más alto (Figura 10), con cuatro especies y nueve individuos conformado por dos frugívoros (*C. brevicauda* y *P. infuscus*), un hematófago (*D. rotundus*) y un nectarívoro (*L. robusta*). La segunda cueva con un mayor índice de Fisher fue Templo de Ceremonias ($S = 1,97$), mientras que la cueva Aguayacu ($S = 0,71$) resultó ser la cueva con el menor índice.

Los dos índices utilizados para el cálculo de la diversidad alfa arrojan similares posiciones con respecto a las cuevas más y menos diversas, existiendo una diferencia en relación a la cueva más diversa. El índice de Shannon indica que Lluskeyacu 2 es la cueva con mayor diversidad, esto se debe a que la cueva se encuentra dentro de un bosque más denso en comparación con las demás, donde la disponibilidad de alimento es mayor. El

índice de Fisher señala a Elefante como la cueva más diversa, pero el margen de error de este último es bastante alto haciendo poco confiable este resultado, esto se debe a que este índice se caracteriza por dar mayor importancia a las especies con baja abundancia, debido a su característica de distribución serie logarítmica (Magurran, 2004). La poca abundancia de las especies se debe a la complejidad de esta cueva haciendo más complicado acceder a las grietas para la captura de los individuos. Los índices de Shannon y Fisher concuerdan que Aguayacu es la cueva con menor diversidad. Este resultado puede estar influenciado por que recientemente dentro de la cueva hubo un pequeño derrumbe, lo cual pudo desplazar a los murciélagos; y además impidió el completo muestreo y caracterización de esta cueva. La mayoría de los murciélagos registrados fuera de esta cueva prefieren otros refugios que no sean las cuevas (Ribadeneira, 2017).

La cueva El Toglo con cinco especies y 120 individuos tiene una mayor abundancia en comparación con las demás cuevas; conformado por dos frugívoros (*C. perspicillata* y *C. brevicauda*), un insectívoro (*L. aurita*), un nectarívoro (*L. handleyi*) y un hematófago (*D. rotundus*), sin embargo los parámetros de ambos índices no señalan a esta cueva como la más diversa ($H' = 1,18$; $S = 1,05$), ya que la distribución de las abundancias de las especies no es equitativa y no hay una gran cantidad de especies raras dentro de la muestra.

Todas las cuevas presentan un número de especies similar, entre tres a cinco especies, lo que varía es la diferencia en la abundancia de cada especie, sin embargo, el muestreo es escaso en todas las cuevas debido al tiempo y la dificultad para la captura de los murciélagos en el interior usando redes de mano.

6.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ECOLÓGICAS QUE INFLUYEN EN LA DIVERSIDAD DE MURCIÉLAGOS CAVERNÍCOLAS.

Las condiciones microclimáticas y dimensiones físicas son consideradas como factores determinantes para la elección de refugio por parte de los murciélagos dentro de las cuevas (Kunz, 1982). Al realizar el análisis de correlación de Spearman, en general, se observa que no hay correlación entre la temperatura y humedad con los índices de diversidad aplicados, ya que la significancia estadística es mayor al 0,01 y al 0,05 (Tabla 2). La variable área de la cueva tuvo una correlación positiva con el índice de diversidad de Shannon, con una significancia estadística del 0,029, siendo este un factor influyente en la preferencia de sitios de percha; en la Tabla 3 se puede observar que la cueva con mayor área es Lluskeyacu 2, siendo igualmente la cueva con mayor índice de Shannon, además de tener una mayor diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura promedio con

respecto a las demás cuevas. En las otras cavernas la correlación no es muy visible, debido a que los murciélagos se refugiaban en grietas de difícil acceso para su captura, lo que impidió la colecta de un mayor número de individuos en todas las cuevas.

En estudios realizados por Brunet y Medellín (2001) no hubo correlación entre la temperatura y el número de especies, ya que los murciélagos que se encuentran en el Neotrópico no son exigentes con esta variable ambiental, siempre y cuando la temperatura esté en su rango de tolerancia de cada especie, lastimosamente la única especie de las registradas, que cuenta con estudios de rangos de tolerancia es *Peropteryx macrotis* (Genoud, Bonaccorso & Anends, 1990). La temperatura es un factor influyente para especies que utilizan las cuevas como hibernáculos o sitios de maternidad, mientras que en otras circunstancias este factor no es muy importante (Ávila-Flores y Medellín, 2004; Ortiz-Ramirez et al., 2006). Otros estudios, contradicen los resultados anteriores, ya que determinan a la temperatura como uno de los factores con mayor importancia por parte de los murciélagos para la elección de refugio, esta influencia se ve claramente en lugares donde existe la influencia de las estaciones (Phelps et al, 2016; Rodríguez-Duran y Soto-Centeno, 2003; Tuttle y Stevenson, 2011; Nagy y Postawa, 2011).

La humedad podría ser una variable ambiental influyente en la diversidad de murciélagos dentro de las cuevas en el Neotrópico, debido a que cuevas más largas tendrán mayor número de sitios estrechos donde la humedad es retenida con mayor facilidad, ofreciendo mayor número de refugios para las especies (Brunet y Medellín, 2001; Torres-Flores, López-Wilchis y Soto-Castruita, 2012). Sin embargo, un par de estudios similares determinan que todas las variables ambientales exceptuando la humedad son influyentes en la riqueza de especies de murciélagos (Phelps, 2016; Ávila-Flores y Medellín, 2004), sin embargo en los resultados obtenidos, la humedad no es una variable determinante para la elección de sitios de refugio dentro de las cuevas. Las variables ambientales temperatura y humedad no determinan la diversidad de especies de murciélagos en las cuevas, debido a que los rangos de tolerancia fisiológicos son bastante amplios, sin embargo este rango de tolerancia tiene límites específicos para cada especie (Ávila-Flores y Medellín, 2004).

Todos los estudios concuerdan con que la forma y área de las cuevas son los principales requerimientos por parte de los murciélagos para la selección de su sitio de percha, debido a que estos factores influye en las variables ambientales dentro de las cuevas, donde cavernas más grandes tienen una mayor disponibilidad de microclimas permitiendo una mayor riqueza y abundancia de especies (Phelps, 2016; Brunet y Medellín, 2001; Ávila-Flores y Medellín, 2011; Tuttle and Stevenson, 2011; Rodríguez-Durán, 1998; Nagy y Postawa, 2011).

Durante el estudio, se pudo observar ciertos patrones de preferencia por parte de las especies, por ejemplo, *Peropteryx macrotis* se encontraba generalmente en pequeñas grietas a pocos metros de las entradas de las cuevas, donde la temperatura era baja y la humedad mayor, formando grupos de entre cuatro a seis individuos. No se encontraron grandes agrupaciones de *D. rotundus*, esta especie aprovechaba las zonas agostas de las cavernas. Las especies *C. perspicillata*, *C. brevicauda*, *L. handleyi* y *L. rubusta* prefieren refugiarse en cúpulas más grandes y compartir su sitio de percha, donde pueden formar grandes agrupaciones de cientos de individuos y debido a esta gran agrupación de murciélagos en estas zonas la temperatura era mayor. Los individuos de *P. infuscus* se los encontraba en sitios anchos y altos donde la temperatura era mayor y con menor humedad. Las demás especies registradas al ser capturadas en red no se lograron registrar su preferencia de sitio dentro de las cuevas.

Para la comunidad de murciélagos de este estudio, es posible que otras variables tengan una mayor influencia al momento de la elección del sitio de percha en las cavernas, como la morfología, tipo de bosque, cantidad de agua, presencia de gases, precipitación, disponibilidad de alimento o competencia (Kunz, 1982; Kunz, 1994; Lewis, 1995); además se encontró que la mayoría de especies registradas alrededor de las cuevas son generalistas con respecto al sitio de percha, por lo tanto, no utilizan solo las cuevas como refugio, si no que prefieren otros sitios tales como árboles, construcciones humanas y hojas (Ribadeneira, 2017).

Con respecto al análisis canónico de correspondencias, en la Figura 11, se puede observar que la variable ambiental temperatura, al ser el vector más largo, resulta tener más influencia que la variable ambiental humedad para la selección de la cueva como sitio de refugio por parte de los murciélagos. A pesar de que las correlaciones indican que no hay una relación entre las variables ambientales, ciertas especies como *L. handleyi*, *D. rotundus*, *P. macrotis*, *L. aurita* y *L. robustas* resultaron ser las especies más sensibles a la temperatura, mientras que las especies *D. rotundus*, *L. handleyi* y *L. spurelli* muestran una mayor susceptibilidad a la humedad.

Lonchophylla handleyi tiene una notable preferencia por las altas temperaturas y menor humedad, ya que esta especie solamente fue registrada dentro la cueva El Togado, con una temperatura promedio de 28,3 °C y una humedad relativa promedio de 76,5 % siendo una de las cuevas con mayor temperatura. No se encontró literatura asociada a las temperaturas que esta especie puede soportar o preferir, por lo cual éste sería el primer reporte de esta naturaleza. *P. infuscus*, prefiere lugares más cálidos y más secos, por esta razón se encontró un mayor número de individuos dentro de la cueva Lluskayacu 2, la cual

tiene una temperatura promedio de 29,6 °C y humedad relativa promedio de 71,4 %. *Carollia perspicillata* también tiene una estrecha relación con las altas temperaturas, ya que esta especie fue encontrada en las cuevas El Toglo y Aguayacu (27,5° C); esta especie toma en cuenta los factores temperatura y forma de la cueva al momento de seleccionar un sitio de percha (Peñuela-Salgado y Pérez-Torres, 2015).

Por el contrario, *Peropteryx macrotis*, prefiere lugares más fríos, por lo cual se encuentra relacionado con las cuevas Templo de Ceremonias (23,6 °C) y Mayanchi (26 °C), teniendo estas una temperatura promedio menor a las demás. Esta especie está habituada a soportar temperaturas de hasta 20 °C, ya que puede mantener su calor corporal hasta este límite inferior de temperatura (Genoud, Bonaccorso & Anends, 1990). La especie *L. robusta*, también muestra preferencia por cuevas con temperaturas más frías y más húmedas ya que esta especies se encontró en mayor abundancia en la cueva Templo de Ceremonias.

En relación a la humedad, se puede observar en la Figura 11 que la especie *Desmodus rotundus* tienen una preferencia por lugares más secos dentro de las cuevas. El análisis nos permite ver que *Lionycteris spurrelli* podría tener una cierta preferencia por lugares con mayor humedad; sin embargo, durante todo el tiempo de muestreo se logró capturar un individuo de esta especie en la cueva Aguayacu. *C. brevicauda*, también prefiere sitios más húmedos.

6.4. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO QUE PUEDE CAUSAR EL TURISMO EN LA COMUNIDAD DE MURCIÉLAGOS

En la Tabla 4 se observa los resultados del análisis de diversidad beta del índice de Whittaker, el cual permite comparar la diversidad entre cuevas turísticas (Toglo, Uctu iji changa, Templo de Ceremonias y Elefante) y no turísticas (Lluskayacu 2, Aguayacu, Mayanchi y Cueva de los Murciélagos). Los índices de similitud que el análisis provee dejan ver que no hay una diferencia marcada entre cuevas turísticas y no turísticas, ya que se esperaba una mayor similitud en la diversidad dentro de cada agrupación y una diferencia notoria entre los dos grupos de comparación.

Las cuevas El Toglo (turística) y Mayanchi (no turística) al comparar su diversidad se obtuvo un índice de similitud de 0,75, reflejando la similitud de la diversidad de especies entre estas dos cavernas. Se observa que cuevas turísticas no son similares entre sí, como es el caso de Elefante y Uctu iji changa que tienen un índice de similitud de 0,14. Dentro de las cuevas no turísticas se puede ver que hay una gran diferencia en la

comparación de la diversidad, este es el caso de la cueva Mayanchi que al ser comparada con Lluskeyacu 2 tiene un índice de similitud de 0,2, y al ser comparada la diversidad de Mayanchi con la cueva de los Murciélagos igualmente dio un índice de similitud bajo de 0,3.

Los resultados obtenidos dejan ver que el turismo dentro de las cuevas no influye en la diversidad de murciélagos, ya que el número de visitas que reciben no son excesivas. En la cueva Toglo se reciben hasta 10 personas y las visitas son irregulares (A. Castillo, comunicación personal, 28 de octubre 2016), por lo cual no llegan a alterar a la comunidad de murciélagos, lo cual no ocurre en Parque Nacional Ankarana en Madagascar, donde la especie *Rousettus madagascariensis* cambiaba su comportamiento drásticamente al presenciar una gran cantidad de humanos y la luz directa de las linternas (Cardiff, Rattrimomanarivo y Goodman, 2012). En otras cuevas se ha reportado que el ruido causado por los turistas, provoca que los murciélagos reduzcan la frecuencia de los llamados de ecolocación (Mann, Steidl y Dalton, 2002).

Para que en Ecuador, las poblaciones de murciélagos no se vean afectadas por el turismo, se ha propuesto tres áreas de importancia para la conservación de los murciélagos (AICOMs) y una cueva como sitio importante para la conservación de los murciélagos (SICOMs). Las tres áreas seleccionadas como AICOMs son Aguayacu, Chikillu y Tamia Yura, debido a que (1) son áreas donde se encuentran especies de interés para la conservación nacional o regional, (2) son áreas que brindan refugio a una o varias especies de interés de forma permanente o parcial y que son importantes en parte de su ciclo de vida. El tercer criterio solo se aplica para Aguayacu, ya que es un área que contiene una alta riqueza de especies independientemente de su amenaza.

La cueva El Toglo fue propuesto como SICOM y se diferencia de los AICOMs debido a que es un sitio más pequeño y puntual donde se encuentran murciélagos de importancia para la conservación (Aguirre, Barquez, Medellín, Nassar, Navarro y Rodríguez-Herrera, 2011). Los criterios que se tomaron en cuenta para esta decisión fueron, (1) Es un sitio que brinda refugio a especies con datos insuficientes y cumplen un rol importante en el funcionamiento ecosistémico, (2) es un sitio de refugio para una o varias especies que usan estos lugares en parte significativa de su ciclo de vida y (3) es un sitio que contiene alta riqueza de especies independientemente de su amenaza.

Según la IUCN (2017) todas las especies registradas en este estudio son de preocupación menor, sin embargo, según Tirira (2011) especies como *L. spurelli*, *L. handley* y *P. macrotis* poseen datos insuficientes, por lo cual es importante la protección de las cuevas donde estas especies se encuentren para próximos estudios, por esta razón se

está empezando a realizar actividades de conservación para que la diversidad de murciélagos no se vea afectada en un futuro. En todas las cuevas se encontró pocos individuos del vampiro común (*Desmodus rotundus*), lo cual hace más seguras las visitas por parte de los turistas a las cuevas, lo que ayudara a un incremento en las visitas.

El ecoturismo es una herramienta que ayuda a acercar a las personas a la naturaleza, y así puedan conocer la función ecológica que los murciélagos cumplen y desmentir mitos sobre este grupo de mamíferos (Pennisi, Holland y Stein, 2004). En el sistema de cuevas de Dupsina en Turquía, ciertas normas han sido aceptadas y aplicadas para el manejo apropiado del turismo; donde las luces dentro de la cueva solo son encendidas cuando hay turistas, se realizan calendarios de visitas tomando en cuenta las épocas de reproducción de los murciélagos y la caverna que ocupan los murciélagos todo el año fue cerrada para los turistas (Paksuz y Özkan, 2012).

Con los resultados obtenidos en este estudio, se realizó la Guía interpretativa: Murciélagos de las cuevas del Napo, la cual servirá de apoyo a los guías durante el recorrido por las cuevas, para que los turistas puedan conocer los murciélagos cavernícolas, para que así sepan la importancia de la conservación de estas especies.

7. CONCLUSIONES

1. La estimación de la diversidad de murciélagos, a partir de la riqueza y abundancia de especies, de las cuevas de los cantones Tena y Archidona permite conocer las medidas que se deben aplicar para proteger a los murciélagos cavernicos. Al estimar la diversidad se puede llegar a concluir que las cuevas Lluskayaku 2 ($H'=1,39$, $S=1,55$), El Toglo ($H'=1,17$, $S=1,05$) y Templo de Ceremonias ($H'=1,26$, $S=1,96$) son las más diversas.

2. Las variables ambientales de temperatura y humedad no son determinantes al momento de la selección de refugio por parte de los murciélagos del neotrópico ya que estas especies son bastante tolerantes a la variación climática, por otro lado, el área de la cueva está influenciando en la diversidad de murciélagos de las cavernas debido a la mayor disponibilidad de sitios de percha que esta variable otorga.

3. El espeleoturismo en las cuevas de los cantones Tena y Archidona no afecta a la diversidad de murciélagos de estas zonas, sin embargo es de considerable importancia aplicar programas de conservación para que el estado de las cuevas se mantenga estable en el largo plazo.

RECOMENDACIONES

El estudio de la diversidad de murciélagos cavernícolas en Ecuador es escaso, por lo cual se debe continuar con la caracterización de la diversidad en cuevas de la Provincia de Napo y Pastaza, igualmente se debe analizar los límites de tolerancia de temperatura y humedad de los quirópteros, para sí encontrar una mejor relación entre las variables ambientales y la diversidad de cuevas.

Debido a la dificultad para la captura de individuos dentro de las cuevas se recomienda utilizar otros métodos de captura como las trampas arpa.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aden, E. (2005) Adaptation to Darkness. En White WB, Culver DC (Eds) Encyclopedia of Caves. (pp. 1-3). Ámsterdam: Elsevier.
- Aguirre, L. F. (Ed.). (2007). Historia Natural, Distribución y Conservación de los Murciélagos de Bolivia, Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia.
- Aguirre, L. F., Barquez, R., Medellín, R. A., Nassar, J.M., Navarro, L., y Rodríguez-Herrera, B. (2011). Criterios y Normativas para el Establecimiento de Áreas Importantes para la Conservación de los Murciélagos (AICOMs) y Sitios Importantes para la Conservación de los Murciélagos (SICOMs). RELCOM.
- Albuja, L. (1983). Murciélagos de algunas cuevas y grutas del Ecuador. Casa de la Cultura Ecuatoriana. (114), 53-60.
- Altringham, J. D. (2011). Evolution and Diversity. En Altringham, J.D. Bats: from evolution to conservation (pp. 1-35). Oxford: University Press.
- Arita, H. T. (1996). The conservation of cave-roosting bats in Yucatan, Mexico. Biological Conservation, 76(2), 177-185.
- Ávila-Flores, R., y Medellín, R. A. (2004). Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by Mexican bats. Journal of Mammalogy, 85(4), 675-687.
- Barclay, R. M., Harder, L. D., Kunz, T. H., y Fenton, M. B. (2003). Life histories of bats: life in the slow lane. En Kunz, T. H., y Fenton, M. B. (Eds.). Bat Ecology (pp. 209-253). Chicago: The University of Chicago Press.
- Biswas, J., Shrotriya, S., Rajput, Y., y Sasmal, S. (2011). Impacts of ecotourism on bat habitats in caves of Kanger Valley National Park, India. Research Journal of Environmental Sciences, 5(9), 752.
- Bouza, C. N., y Covarrubias, D. (2005). Estimación del Índice de Diversidad de Simpson en m Sitios de Muestreo. Revista investigación operacional, 26(2).
- Brito, J., Camacho, M. A., Romero, V. (2017). Mamíferos del Ecuador. Versión 2017.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <<https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/>>, (21/11/2017).
- Brunet, A. K., y Medellín, R. A. (2001). The species–area relationship in bat assemblages of tropical caves. Journal of Mammalogy, 82(4), 1114-1122.
- Burneo, S. y Tirira, D. (2014). Murciélagos del Ecuador: Un análisis de su patrones de riqueza, distribución y aspectos de conservación. Therya 5(1):197-228.
- Burneo, S. F., Proaño, M. D. y Tirira, D. G. (Eds.). (2015). Plan de acción para la conservación de los murciélagos del Ecuador. Quito: Programa para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador y Ministerio del Ambiente.

- Buzas, M. A., y Gibson, T. G. (1969). Species diversity: benthonic foraminifera in western North Atlantic. *Science*, 163(3862), 72-75.
- Camacho, M. A. (2014a). Registro de datos, preparación y preservación de los especímenes mastozoológicos: Procedimientos tras el ingreso de especímenes a la colección. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Museo de zoología sección Mastozoología.
- Camacho, M. A. (2014b). Registro de datos, preparación y preservación de los especímenes mastozoológicos: Procesamientos para Colectas de Campo. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Museo de zoología sección Mastozoología.
- Cardiff, S. G., Ratrimomanarivo, F. H., y Goodman, S. M. (2012). The effect of tourist visits on the behavior of *Rousettus madagascariensis* (Chiroptera: Pteropodidae) in the caves of Ankarana, northern Madagascar. *Acta Chiropterológica*, 14(2), 479-490.
- Christiansen, K. (2005). Morphological Adaptations. En White WB, Culver DC (Eds) *Encyclopedia of Caves* (pp. 386- 397). Amsterdam: Elsevier.
- Clemente. P. (2015). La visión y el potencial turístico de cuevas en la Provincia de Napo. En: 3er Simposio Internacional de Espeleología en el Ecuador - Boletín Científico. Tena-Ecuador.
- Culver, D. C. y Pipan, T. (2009). *The Biology of Caves and Other Subterranean Habitats*. Oxford: University Press.
- Culver, D. C., y Pipan, T. (2010). Climate, abiotic factors, and the evolution of subterranean life. *Acta Carsologica*, 39(3).
- Culver, D. C., y White, W. B. (Eds.). (2005). *Encyclopedia of caves* (pp. 427-430). Amsterdam (The Netherlands): Elsevier.
- Davies, W. E., y Morgan, I. M. (1991). *Geology of caves*. Washington: Government Printing Office.
- Díaz Carrión, I. A. (2012). Turismo de aventura y participación de las mujeres en Jalcomulco (México). *PASOS. Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 10(5).
- Dixon, J. W. (2011). The role of small caves as bat hibernacula in Iowa. *Journal of Cave and Karst Studies*, 73(1), 21-27.
- Dreybrodt, W., Gabrovšek, F., y Romanov, D. (2005). Processes of speleogenesis: A modeling approach. Založba ZRC, Ljubljana, Slovenia.
- Ellison, A. M. (2010). Partitioning diversity. *Ecology*, 91(7), 1962-1963.
- Felix, S., Novaes, R. L. M., Souza, R. F., y Avilla, L. S. (2016). Bat assemblage in a karstic area from northern Brazil: seven new occurrences for Tocantins state, including

- the first record of *Glyphonycteris sylvestris* Thomas, 1896 for the Cerrado. Check List, 12(6), 1999.
- Fenton, M. B., y Simmons, N. B. (2014). *Bats: A World of Science and Mystery*. Chicago: University of Chicago Press.
- Furey, N. M y Racey, P. A. (2016). Conservation ecology of cave bats. En Voigt CC, Kingston T (eds) *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (pp 463–492). Springer International AG. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9_1.
- Genoud, M., Bonaccorso, F. J., y Anends, A. (1990). Rate of metabolism and temperature regulation in two small tropical insectivorous bats (*Peropteryx macrotis* and *Natalus tumidirostris*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 97(2), 229-234.
- González, M. E. (2008). *Turismo Rural Ecuador*. Costa Rica: Instituto Interamericano para la Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Gunn, J., Ed. (2004). *Encyclopedia of caves and karst science*. Fitzroy Dearborn, New York.
- Horton, L. R. (2009). Buying up nature: Economic and social impacts of Costa Rica's ecotourism boom. *Latin American Perspectives*, 36(3), 93-107.
- Hui, C., y McGeoch, M. A. (2014). Zeta diversity as a concept and metric that unifies incidence-based biodiversity patterns. *The American Naturalist*, 184(5), 684-694.
- IUCN (2017). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2017-2. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 23 November 2017.
- Jones, G., Jacobs, D. S., Kunz, T. H., Willig, M. R., y Racey, P. A. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered species research*, 8(1-2), 93-115.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375.
- Jost L (2009) Mismeasuring biological diversity: response to Hoffmann and Hoffmann (2008). *Ecological Economics* 68:925–992
- Koleff, P., Soberón, J., Arita, H. T., Dávila, P., Flores-Villela, O., Halffter, G., Lira-Noriega, A., Moreno, C. E., Moreno, E., Mungía, M., Mungía, M., Navarro-Singuenza, A. G., Téllez, O., Ochoa-Ochoa, L., Peterson, T. A., y Rodríguez, P. (2008). Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. En *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (pp. 323-364), México.
- Kunz, T. H. (1982). Roosting ecology of bats. En: Kunz, T. H. (Ed.). *Ecology of bats*, (pp. 1-55). Boston: Springer.

- Kunz, T. H. (1994). Bats of the world: an introduction. En Nowak, R. M. Walker's Bats of the World, (pp.1-46). JHU Press.
- Kunz, T. H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., y Fleming, T. H. (2011). Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1223(1), 1-38.
- Kunz, T. H., y Fenton, M. B. (Eds.). (2003). *Bat ecology*. University of Chicago Press.
- Ladle, R. J., Firmino, J. V., Malhado, A., y Rodríguez-Durán, A. (2012). Unexplored diversity and conservation potential of Neotropical hot caves. *Conservation Biology*, 26(6), 978-982.
- Lewis, S. E. (1995). Roost fidelity of bats: a review. *Journal of Mammalogy*, 76(2), 481-496.
- Linares, O. J. y Naranjo, C. J. (1973). Bioespeleología, notas acerca de una colección de murciélagos del género *Lonchorhina*, de la cueva de Archidona, Ecuador (Chiroptera). *Boletín de la Sociedad de Espeleología Venezolana*. 4(2), 175-180.
- Magurran, A. E., y McGill, B. J. (Eds.). (2011). *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. Oxford University Press.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Mann, S. L., Steidl, R. J., y Dalton, V. M. (2002). Effects of cave tours on breeding *Myotis velifer*. *The Journal of wildlife management*, 618-624.
- Martin-Solano, S., Toulkeridis, T., Addison, A., y Pozo-Rivera, W. E. (2016). Predation of *Desmodus rotundus* Geoffroy, 1810 (Phyllostomidae, Chiroptera) by *Epicrates cenchria* (Linnaeus, 1758)(Boidae, Reptilia) in an Ecuadorian Cave. *Subterranean Biology*, 19, 41.
- Medellin, R. A., Wiederholt, R., y Lopez-Hoffman, L. (2017). Conservation relevance of bat caves for biodiversity and ecosystem services. *Biological Conservation*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.012>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84pp.
- Murray, S. W y Kunz, T.H. (2005). Bats. En White WB, Culver DC (Eds) *Encyclopedia of Caves* (pp.40-45). Ámsterdam: Elsevier.
- Nagy, Z. L., y Postawa, T.(2011). Seasonal and geographical distribution of cave-dwelling bats in Romania: implication for conservation. *Animal Conservation*, 14(1), 74-86.
- Niemiller, M. L., y Soares, D. (2015). Cave environments. En Plath, M., Tobler, M., & Riesch, R. *Extremophile fishes* (pp. 161-191). Springer.

- Novak, T., Perc, M., Lipovšek, S., y Janžekovič, F. (2012). Duality of terrestrial subterranean fauna. *International Journal of Speleology*, 41(2), 5.
- Oosting, H. J., y Hess, D. W. (1956). Microclimate and a relic stand of *Tsuga canadensis* in the lower piedmont of North Carolina. *Ecology*, 37(1), 28-39.
- Ortiz-Ramírez, D., Lorenzo, C., Naranjo, E., y León-Paniagua, L. (2006). Selección de refugios por tres especies de murciélagos frugívoros (Chiroptera: Phyllostomidae) en la Selva Lacandona, Chiapas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 77(2), 261-270.
- Paksuz, S., y Özkan, B. (2012). The protection of the bat community in the Dupnisa Cave System, Turkey, following opening for tourism. *Oryx*, 46(1), 130-136.
- Palmer, A. N., y Hill, C. A. (2012). Sulfuric acid caves. En *Encyclopedia of Caves* (Second Edition) (pp. 810-819).
- Patterson, B. D., Willing, M. R. y Stevens, R. D. (2003). Trophic strategies, niche partitioning, and patterns of ecological organization. En Kunz, T. H. y Fenton, M. B. (Eds.). *Bat Ecology*. (pp. 536-579). Chicago: The University of Chicago Press.
- Pennisi, L. A., Holland, S. M., y Stein, T. V. (2004). Achieving bat conservation through tourism. *Journal of Ecotourism*, 3(3), 195-207.
- Peñuela-Salgado, M., y Pérez-Torres, J. (2015). Environmental and spatial characteristics that affect roost use by seba's short-tailed bat (*Carollia perspicillata*) in a Colombian cave. *Journal of Cave and Karst Studies*, 77(3), 160.
- Pérez-Torres, J., Martínez-Medina, D., Penuela-Salgado, M., Ríos-Blanco, M.C., Estrada-Villegas, S., y Martínez-Luque, L. (2015). Macaregua: the cave with the highest bat richness in Colombia. *Check List*, 11(2).
- Phelps, K., Jose, R., Labonite, M., y Kingston, T. (2016). Correlates of cave-roosting bat diversity as an effective tool to identify priority caves. *Biological Conservation*, 201, 201-209.
- Ribadeneira, A. (2017). Caracterización de la riqueza y diversidad de murciélagos en cuevas de la provincia del Napo, mediante llamadas de ecolocación (Disertación de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador.
- Ricklefs, R. (1979). *Ecology*. Chiron, New York.
- Rodriguez-Duran, A. (1998). Nonrandom aggregations and distribution of cave-dwelling bats in Puerto Rico. *Journal Mammalogy*, 79(1), 141-146.
- Rosenzweig, M. L. (1995). *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press.
- Sánchez-Otero, J. 2015. *Introducción a la Estadística No Paramétrica y al Análisis multivariado*. Innovación digital. Quito.

- Sánchez, J. (2017). Guía Espeleológica de Napo 1. (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Napo; Universidad Regional Amazónica IKIAM; Sociedad Científica Espeleológica Ecuatoriana (ECUCAVE) Geoparque Napo-Sumaco. Ed.). Tena-Ecuador.
- Siles, L., Muñoz, A., y Aguirre, L. F. (2007). Bat diversity in three caves in a montane forest of Bolivia. *Ecotropica*, 13, 67-74.
- Silva, M. S., y Ferreira, R. L. (2015). Cave invertebrates in Espírito Santo state, Brazil: a primary analysis of endemism, threats and conservation priorities. *Subterranean Biology*, 16, 79.
- Sket, B. (2008). Can we agree on an ecological classification of subterranean animals? *Journal of Natural History*, 42, 1549–1563, DOI: 10.1080/00222930801995762
- Smith, T. M. S., y Smith, R. L. (2007). *Ecología* (Sexta edición) . Madrid, ES: Pearson Educación.
- Struebig, M. J., Kingston, T., Zubaid, A., Le-Comber, S. C., Mohd-Adnan, A., Turner, A., Kelly, J., Bozek, M., y Rossiter, S. J. (2009). Conservation importance of limestone karst outcrops for Palaeotropical bats in a fragmented landscape. *Biological Conservation*, 142(10), 2089-2096.
- Tirira, D. G (eds.). 2011. Libro Rojo de los mamíferos del Ecuador. 2a edición. Fundación Mamíferos y Conservación, Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Tirira, D. (2017). Guía de campo de los mamíferos del Ecuador. Quito: Ediciones Murciélago Blanco.
- Torres-Flores, J. W., López-Wilchis, R., y Soto-Castruita, A. (2012). Dinámica poblacional, selección de sitios de percha y patrones reproductivos de algunos murciélagos cavernícolas en el oeste de México. *Revista de Biología Tropical*, 60(3), 1369-1389.
- Toulkeridis, T., Addison, A., Constantin, S., Winkler, E., Toomey III, R., Osburn, R., y Simón Baile, D. (2015). Espeleología en Tena, Napo. Un breve inventario geológico y cartográfico. In 3er Simposio Internacional de Espeleología en el Ecuador–Tena. Boletín Científico. Imprenta de la Universidad de las Fuerzas Armadas–ESPE, Sangolquí (pp. 26-67).
- Trajano, E. (1995). Protecting caves for bats or bats for caves? *Chiroptera Neotropical*, 1(2), 19-21.
- Trajano, E. (2012). Ecological classification of subterranean organisms. En: White, W. B. y Culver, D. C. (Eds.). *Encyclopedia of Caves* (pp. 275-277). Waltham: Elsevier.
- Trajano, E. y Carvalho M. R. (2017). Towards a biologically meaningful classification of subterranean organisms: a critical analysis of the Schiner-Racovitza system from a

- historical perspective, difficulties of its application and implications for conservation. *Subterranean Biology*. 22, 1–26.
- Trajano, E., y Gimenez, E. E. (1998). Bat community in a cave from eastern Brazil, including a new record of *Lionycteris* (Phyllostomidae, Glossophaginae). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 33(2), 69-75.
- Tuttle, M. D. (1997). The World of Bats. En Tuttle, M. D. *America's Neighborhood Bats* (pp. 5-16). Texas: University of Texas Press.
- Tuttle, M. D., y Stevenson, D. E. (2011). Variation in the cave environment and its biological implications. (pp. 19-35) In *BCI Bat Conservation and Management Workshop—Arizona*.
- Tvrčkovič, N. (2005). Vertebrate visitors—birds and mammals. En D.C. Culver y W.B. White, eds. *Encyclopedia of caves*, (pp. 589–91). Elsevier Academic Press, Amsterdam, Netherlands.
- Valiente-Banuet, A., Molina-Freaner, F., Torres, A., del Coro Arizmendi, M., y Casas, A. (2004). Geographic differentiation in the pollination system of the columnar cactus *Pachycereus pecten-aboriginum*. *American Journal of Botany*, 91(6), 850-855.
- Voss, R. S., Fleck, D. W., Strauss, R. E., Velazco, P. M., y Simmons, N. B. (2016). Roosting Ecology of Amazonian Bats: Evidence for Guild Structure in Hyperdiverse Mammalian Communities. *American Museum Novitates*, (3870), 1-43.
- Wesche, R. (1996). Developed country environmentalism and indigenous community controlled ecotourism in the Ecuadorian Amazon. *Geographische Zeitschrift*, 157-168.
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 213-251.

9. FIGURAS

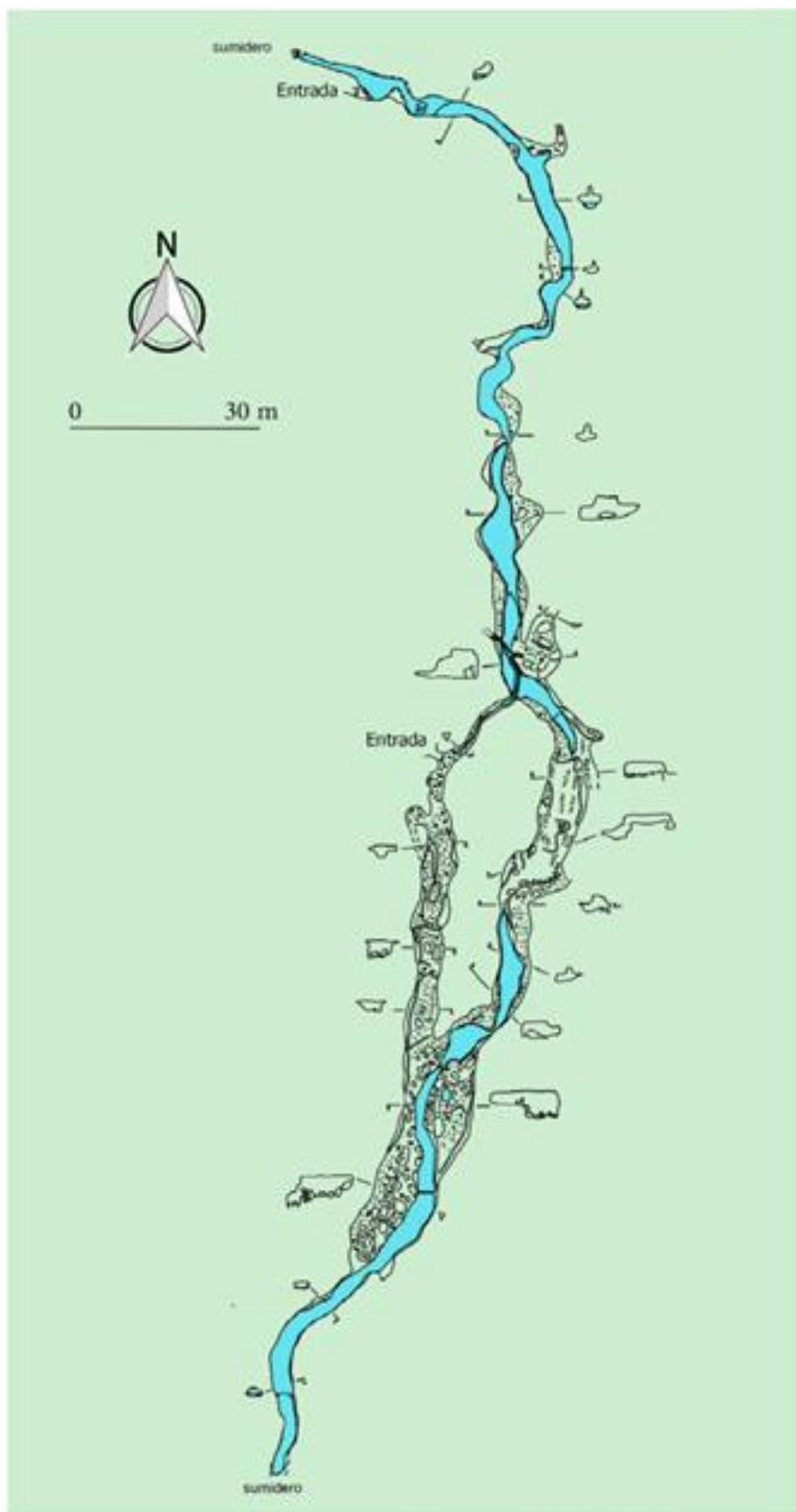


Figura 1. Mapa de la cueva Togo. Fuente: IKIAM, 2017

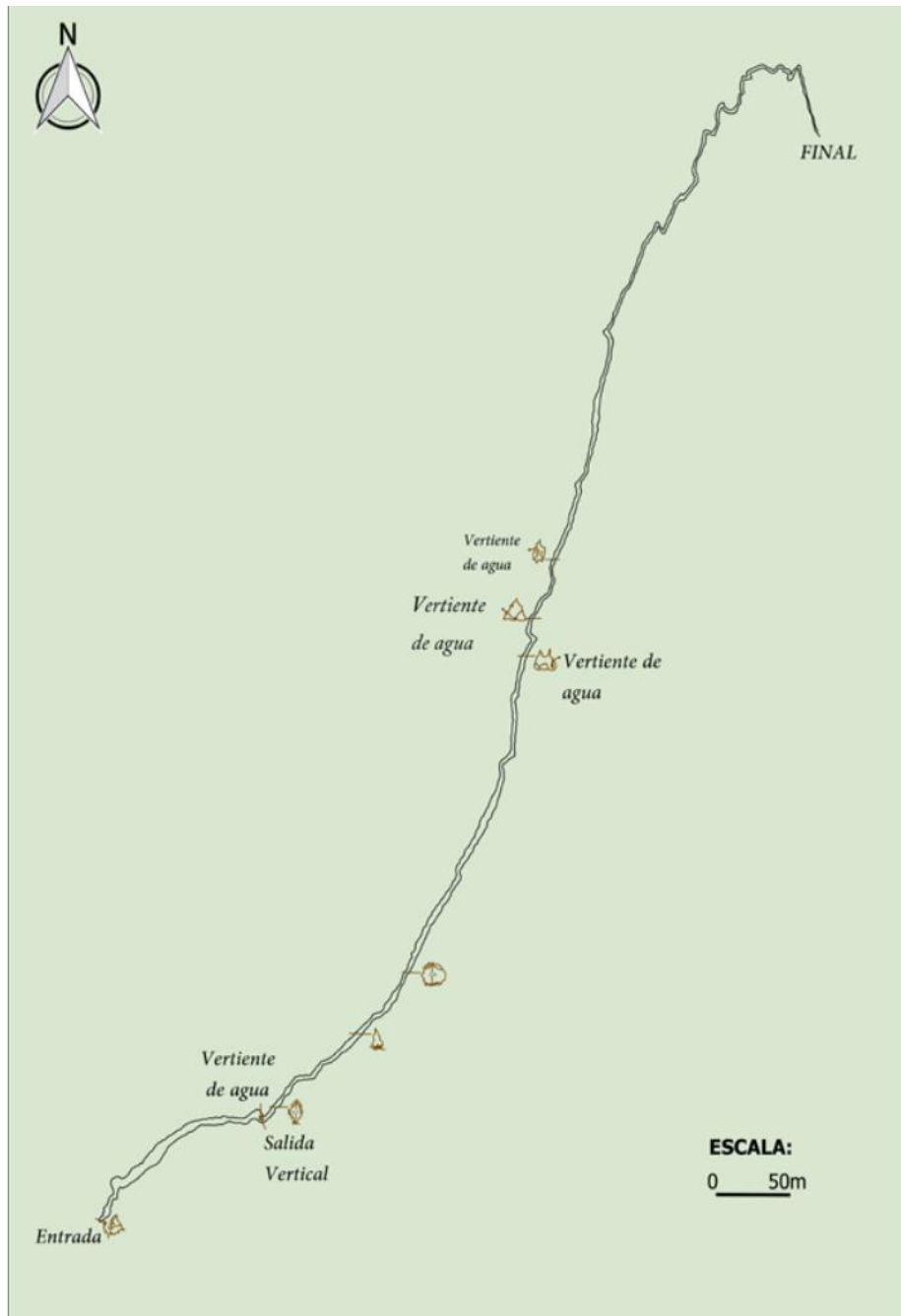


Figura 2. Mapa de la cueva Uctuiji Changa. Fuente: IKIAM, 2017

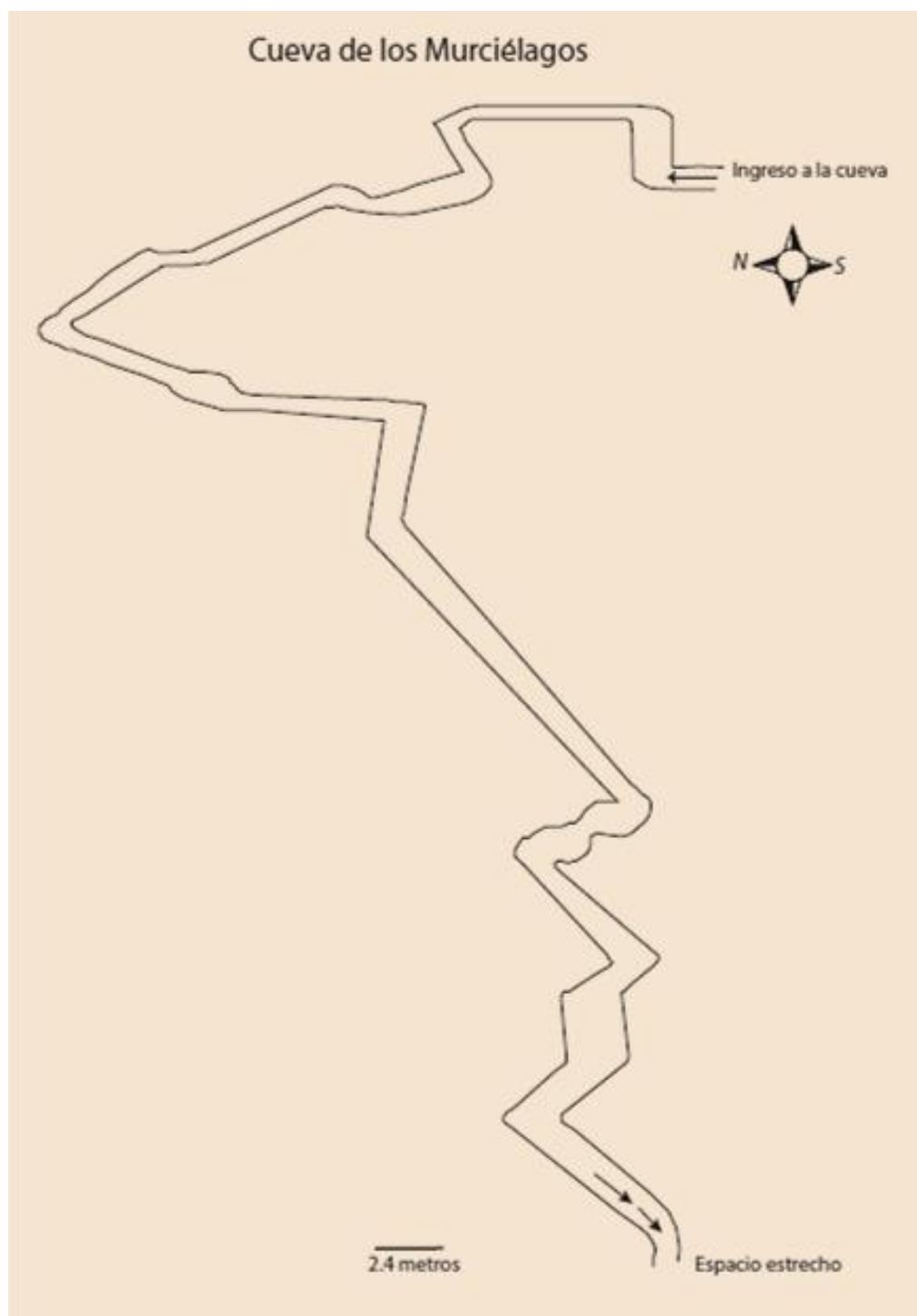


Figura. 3 Mapa de la Cueva de los Murciélagos.

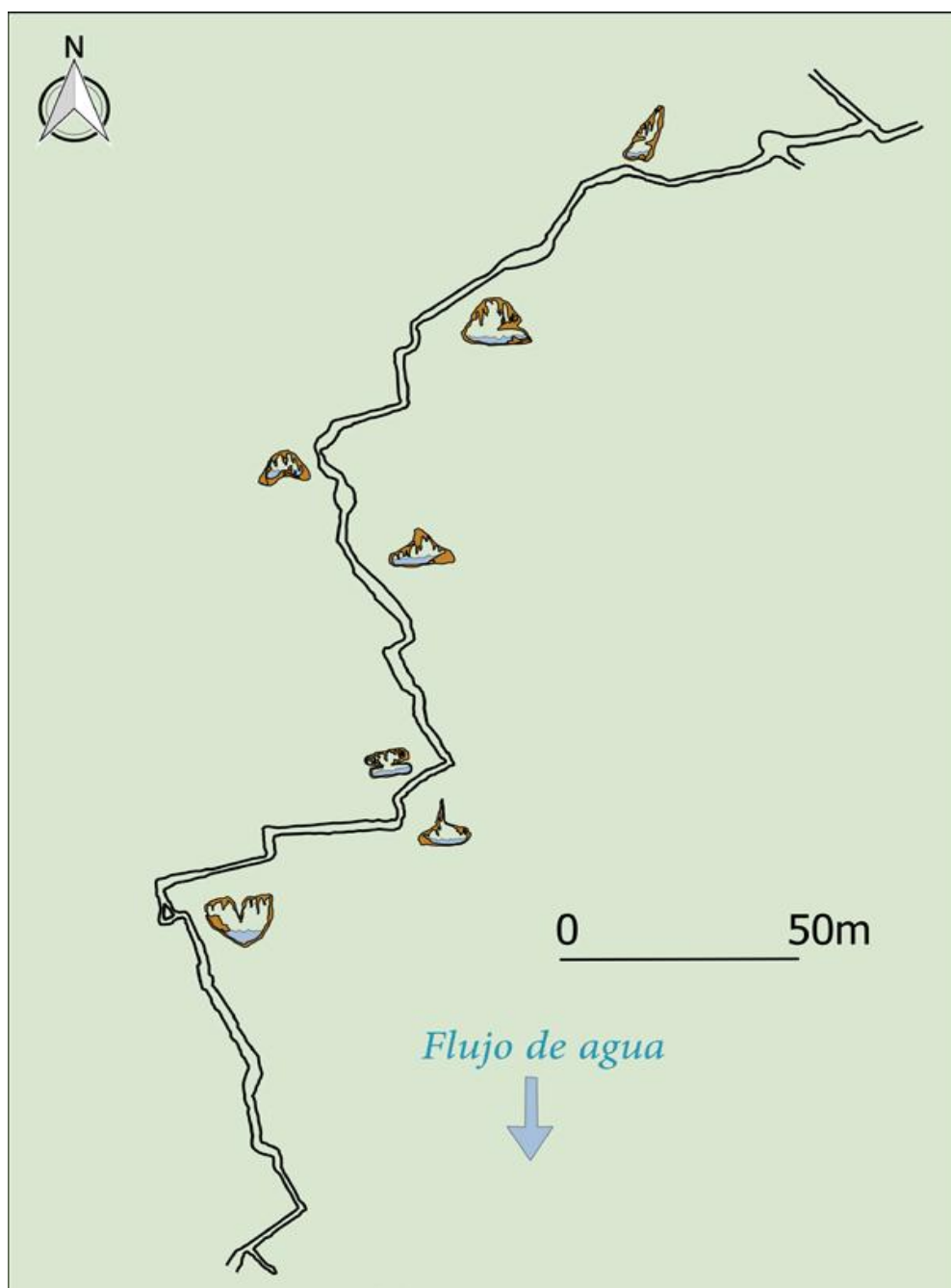


Figura 4. Mapa de la cueva Luskayacu 2. Fuente: IKIAM, 2017



Figura 5. Mapa de la cueva Mayanchi en la comunidad Aguayacu. Fuente: IKIAM, 2017

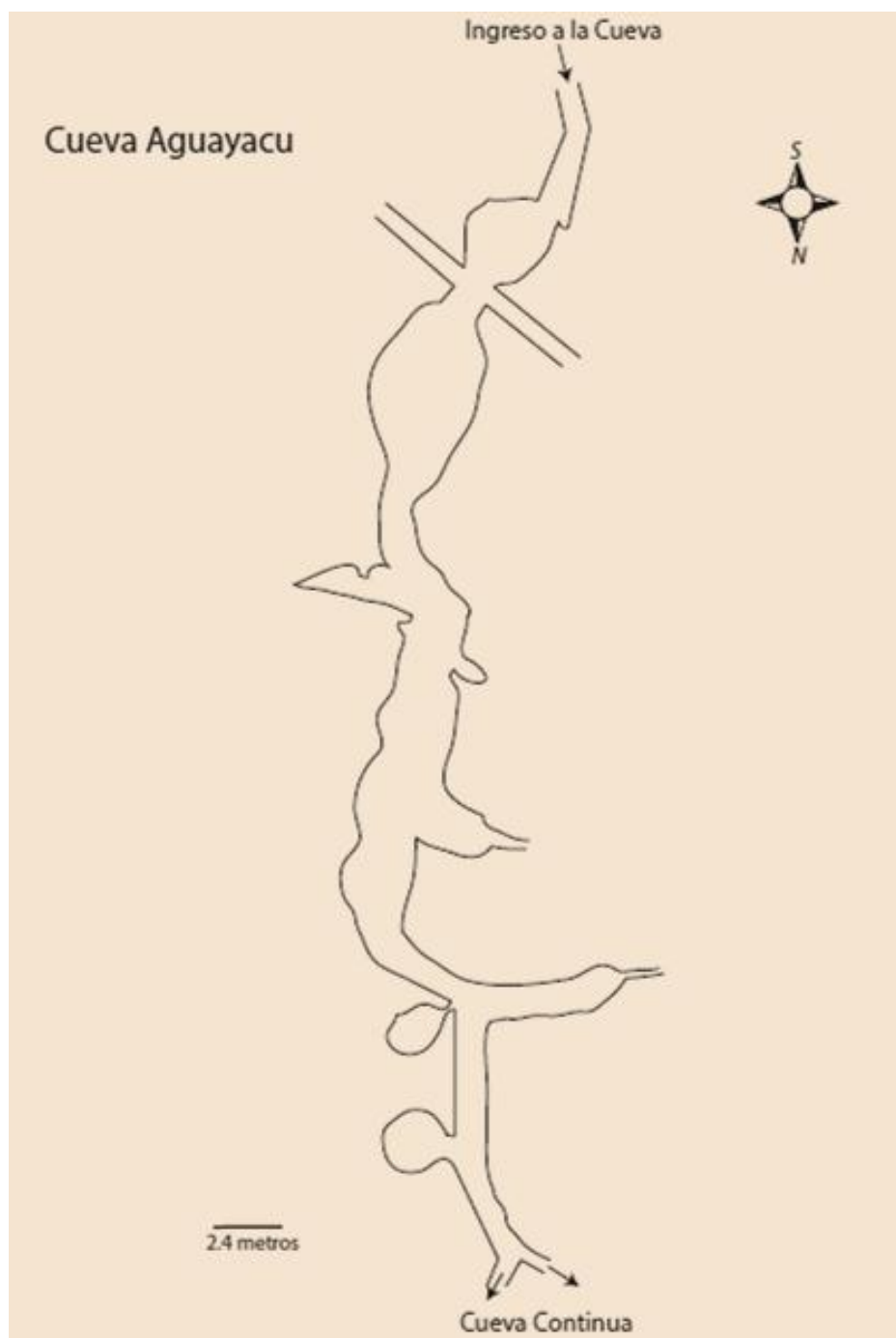


Figura. 6: Mapa de la Cueva Aguayacu en la comunidad Aguayacu.

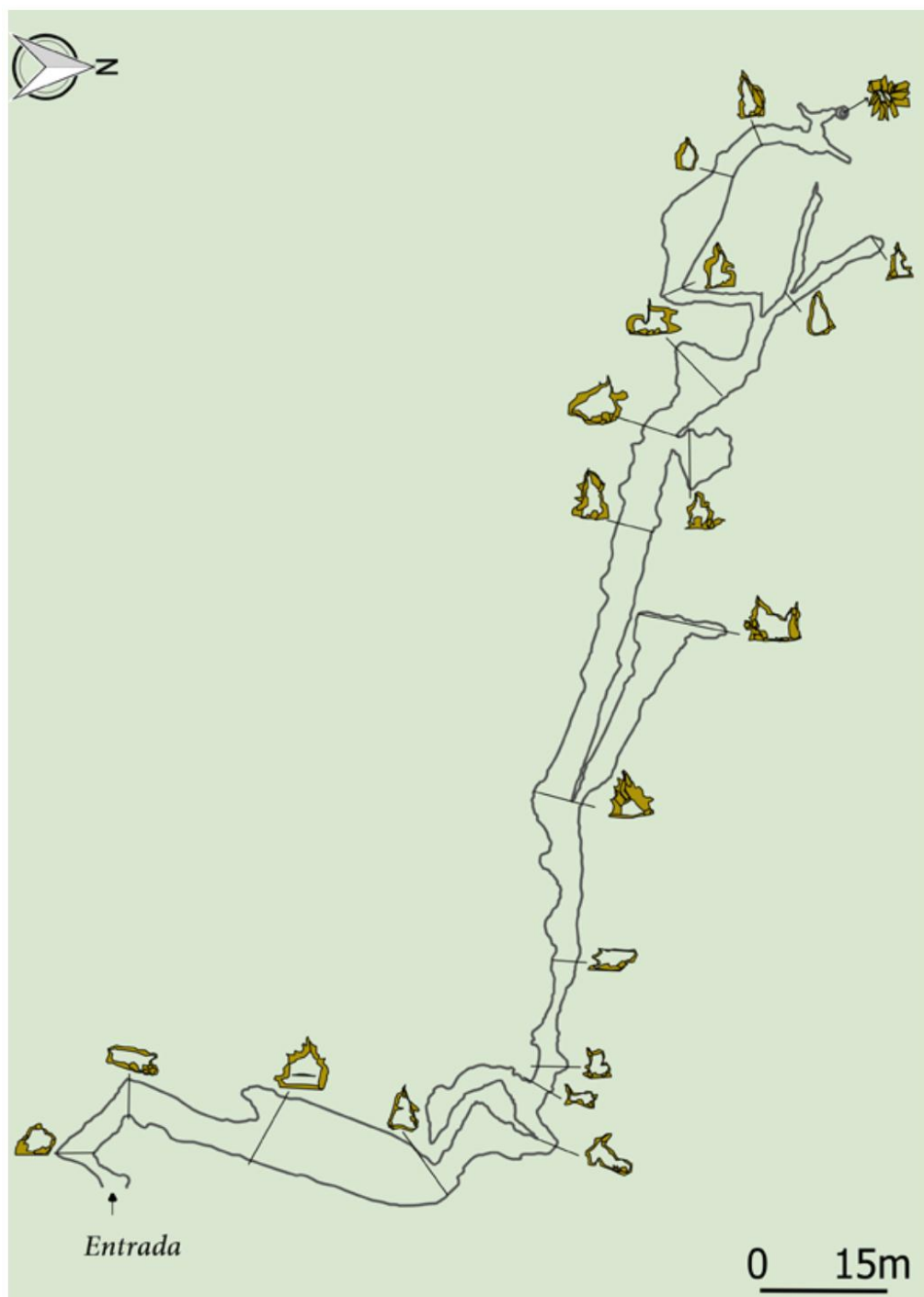


Figura 7. Mapa de la cueva templo de ceremonias. Fuente: IKIAM, 2017

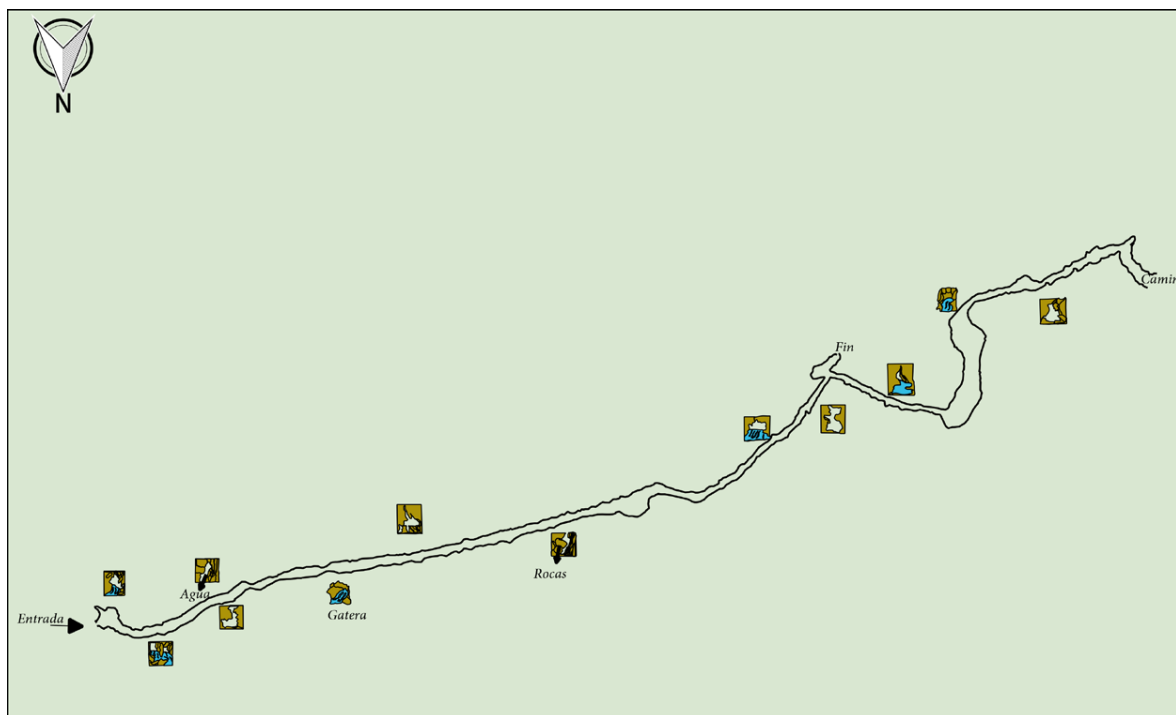


Figura 8. Mapa de la cueva Elefante. Fuente: IKIAM, 2017

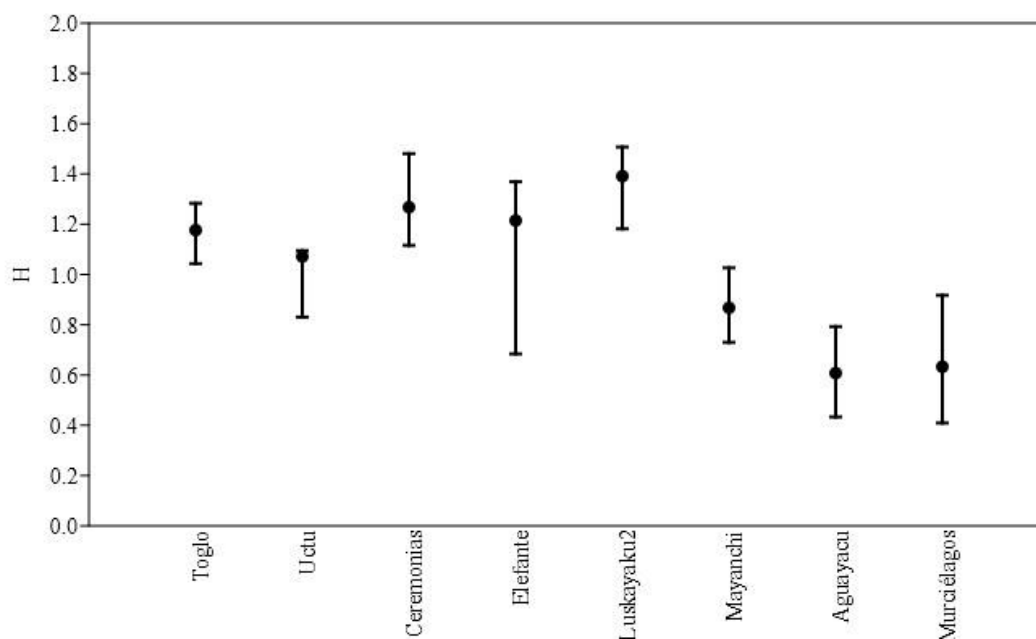


Figura 9. Índice de equidad de Shannon: Representación gráfica del índice de Shannon de cada cueva con sus respectivos límites de confianza. De izquierda a derecha, las cuatro primeras cuevas son turísticas y las cuatro siguientes son no turísticas.

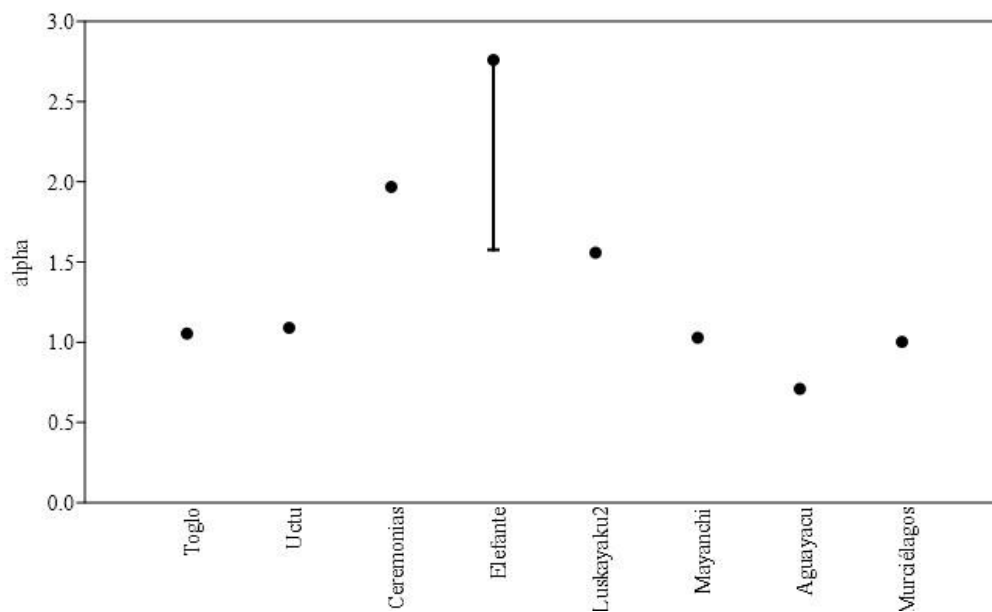


Figura 10. Alfa de Fisher (α) de las cuevas analizadas. El eje horizontal representa las cuevas analizadas y el eje vertical representa el valor de α , las barras representan el límite de confianza. De izquierda a derecha, las cuatro primeras cuevas son turísticas y las cuatro siguientes son no turísticas.

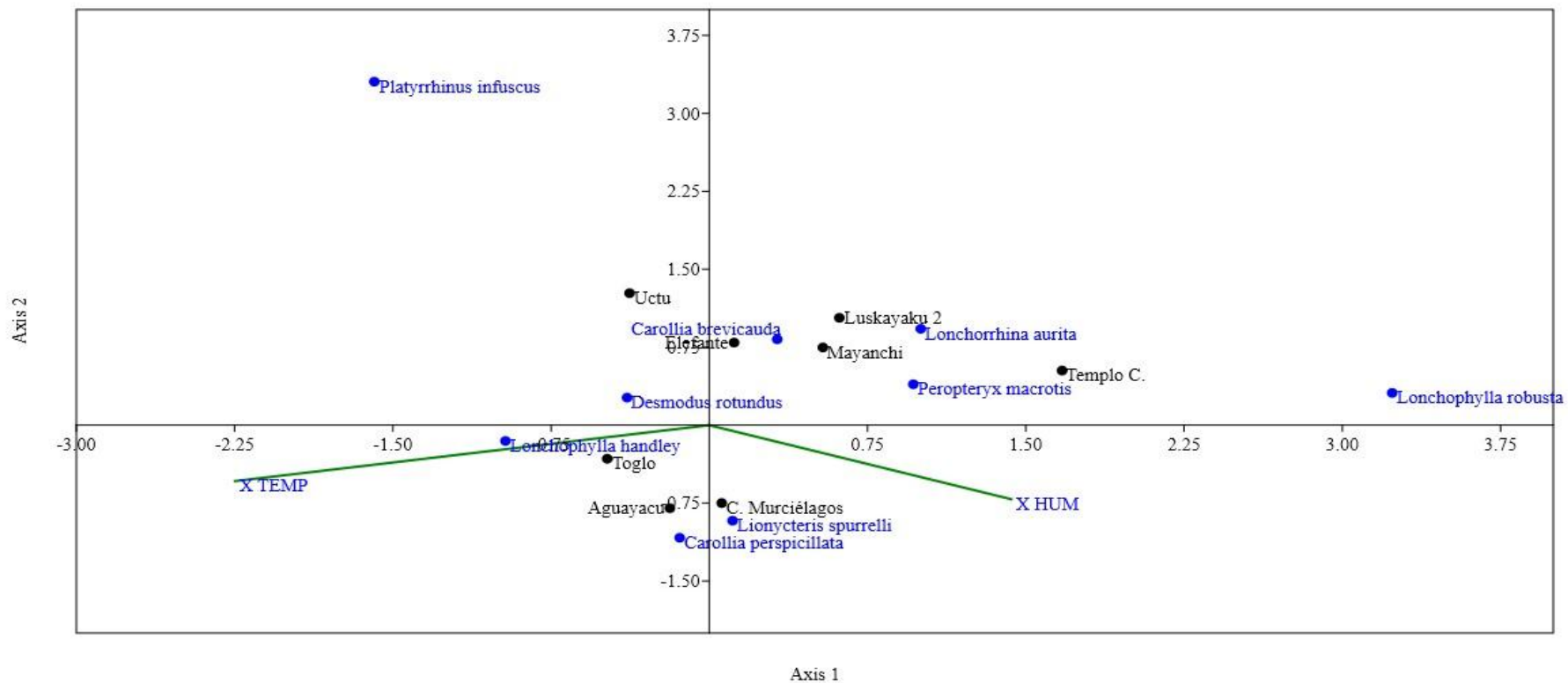


Figura 11. Análisis Canónico de correspondencias: Los puntos de color azul representan las especies de murciélagos y su ubicación en los ejes representan la influencia que tienen las variables ambientales sobre estas. Los vectores de color verde representan las variables ambientales y los puntos de color negro representan los sitios de muestreo.

10.TABLAS

Tabla 1. Matriz de datos de la riqueza y abundancia de especies encontradas dentro de cada una de las cuevas analizadas.

Especies	Toglo	Uctu iji changa	Templo de Ceremonias	Elefante	Lluskayacu 2	Mayanchi	Aguayacu	Cueva de los Murciélagos
<i>Carollia brevicauda</i>	14	7	8	3	14	8	0	1
<i>Carollia perspicillata</i>	41	0	0	0	0	0	37	15
<i>Lonchophylla handleyi</i>	57	0	0	0	0	0	0	0
<i>Peropteryx macrotis</i>	0	0	3	0	11	9	0	3
<i>Lionycteris spurrelli</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Lonchorrhina aurita</i>	1	0	1	0	1	0	0	0
<i>Desmodus rotundus</i>	7	5	1	4	0	0	10	0
<i>Lonchophylla robusta</i>	0	0	10	1	5	0	0	0
<i>Platyrrhinus infuscus</i>	0	4	0	1	6	1	0	0

Tabla 2. Correlación de Spearman: Análisis de correlación entre las variables temperatura, humedad, área de la cueva con los índices de diversidad obtenidos en cada cueva.

			Correlaciones	
			Shannon	Fisher
Rho de Spearman	Temperatura	Coefficiente de correlación	,095	-,190
		Sig. (unilateral)	,411	,326
		N	8	8
	Humedad	Coefficiente de correlación	-,333	-,286
		Sig. (unilateral)	,210	,246
		N	8	8
	Área	Coefficiente de correlación	,690*	,571
		Sig. (unilateral)	,029	,069
		N	8	8

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (1 cola).

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (1 cola).

Tabla 3. Área, datos ambientales y poblacionales de las cuevas de estudio.

Cueva	Área (m²)	Índice de Shannon	Alfa de Fisher	T° ambiente (°C)	T° promedio (°C)	HR ambiente	HR promedio
Toglo	1070,6	1,17	1,05	27,2	27,9	76,1	77,1
Uctu iji changa	3343,7	1,07	1,09	27,1	27,7	72,5	75,2
Templo de Ceremonias	1010,5	1,26	1,96	23,2	23,6	83,1	88,3
Elefante	2466,3	1,21	2,75	29,9	27,2	69,2	76,7
Lluskayacu 2	258302,6	1,39	1,55	31,2	29,6	67,3	71,4
Mayanchi	467,6	0,86	1,02	25,1	26	81,2	84,5
Aguayacu	866,76	0,60	0,70	26	27,5	81	78,7
Cueva de los Murciélagos	271,69	0,63	1,00	27,1	27,8	88,1	81

Tabla 4. Análisis de diversidad β : Datos comparativos de diversidad β entre cuevas turísticas y no turísticas mediante el índice de Whittaker.

	CUEVAS TURÍSTICAS				CUEVAS NO TURÍSTICAS			
	Toglo	Uctu iji changa	Templo de Ceremonias	Elefante	Lluskayacu 2	Mayanchi	Aguayacu	Cueva de los Murciélagos
Toglo	0	0,5	0,4	0,556	0,6	0,75	0,5	0,5
Uctu iji changa	0,5	0	0,5	0,143	0,5	0,333	0,667	0,667
Templo de Ceremonias	0,4	0,5	0	0,333	0,2	0,5	0,75	0,5
Elefante	0,556	0,143	0,333	0	0,333	0,429	0,714	0,714
Lluskayacu 2	0,6	0,5	0,2	0,333	0	0,25	1	0,5
Mayanchi	0,75	0,333	0,5	0,429	0,25	0	1	0,333
Aguayacu	0,5	0,667	0,75	0,714	1	1	0	0,667
Cueva de los Murciélagos	0,5	0,667	0,5	0,714	0,5	0,333	0,667	0

11.ANEXOS



Anexo 1. Guía interpretativa. Esta guía fue realizada mediante el proyecto de investigación de cuevas en la provincia del Napo (Disponible en: <http://www.pcme.ec/educaci%C3%B3n/material-did%C3%A1ctico.html>)

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **DAYANNA MHELLE LÓPEZ ESCOBAR**, con **CC.1724556277** autora del trabajo de graduación intitulado: “**CARACTERIZACIÓN DE COMUNIDADES DE MURCIÉLAGOS EN CUEVAS DE NAPO, ECUADOR Y POSIBLES EFECTOS DEL ESPELEOTURISMO.**”, previa la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 28 de febrero del 2018

_____.

C.C.:1724556277